

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Studie účinnosti speciálních povrchových úprav betonových vozovek,  
směřujících ke snížení hlučnosti

Studies on the effects carriageway surfacing of concrete runwayor for  
noise reduction

Student:

Bc. Petr Mynarčík

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jindřich Cigánek, CSc.

Ostrava 2011

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

### Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst.3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

## **Anotace diplomové práce**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku speciálních povrchových úprav CB krytů, směřujících ke snížení hlučnosti. Klade si jako hlavní cíl vytvořit přehled o aktuálním dění v této problematice a zhodnotit povrchové úpravy, které se v současnosti používají v České republice a v zahraničí.

V teoretické části této diplomové práce je v jedné kapitole komplexně popsána technologie cementobetonových krytů vozovek s ohledem na nejmodernější postupy a druhá kapitola se zabývá tématem hlučnosti z provozu na pozemních komunikacích. V experimentální části práce jsou pak laboratorně zkoušeny a následně hodnoceny vybrané typy speciálních povrchových úprav vedoucích ke snížení hlučnosti.

This thesis is focused on special surface treatment of concrete pavements, aiming to reduce noise. It puts you as the main objective to create an overview of current developments in this field and to evaluate the surface treatment, which is currently used in the Czech Republic and abroad.

The theoretical part of this thesis is a comprehensive chapter describes the technology of concrete road pavements with regard to the latest procedures and the second chapter deals with the issue of noise from road traffic. In the experimental part of the work are then tested in laboratory and then evaluated by selected types of special surface treatments to reduce noise.

## Obsah diplomové práce:

Seznam použitého značení.....	8
1. Úvod.....	9
2. Cementobetonový kryt pro vozovky pozemních komunikací.....	10
2.1 Pozemní komunikace a jejich rozdělení.....	10
2.1.1 Dálnice.....	10
2.1.2 Silnice.....	11
2.1.3 Místní komunikace.....	11
2.1.4 Účelové komunikace.....	12
2.2 Typy vozovek na pozemních komunikacích.....	12
2.3 Cementobetonové kryty vozovek – charakteristika.....	13
2.3.1 Základní typy cementobetonového krytu vozovek.....	13
2.3.2 Hlavní přednosti cementobetonového krytu vozovek.....	14
2.4 Požadavky na materiály pro cementobetonové vozovky.....	16
2.4.1 Kamenivo.....	16
2.4.2 Cement .....	17
2.4.3 Záměsová a ošetřovací voda .....	18
2.4.4 Příměsi a přísady.....	18
2.4.5 Výztuž.....	19
2.4.6 Kvalitativní požadavky ztvrdlého betonu dle ČSN EN 13877-1.....	20
2.5 Složení betonu pro cementobetonový kryt.....	21
2.6 Výroba betonu pro cementobetonový kryt.....	23
2.7 Doprava betonu pro cementobetonový kryt.....	23
2.8 Zpracování betonu pro cementobetonový kryt.....	24
2.9 Úprava a ochrana povrchu čerstvého cementobetonového krytu.....	26
3. Hlučnost cementobetonového krytu vozovek.....	28
3.1 Hluk.....	28
3.1.1 Definice hluku.....	28
3.1.2 Vlivy hlučnosti na lidský organismus.....	29
3.1.3 Hodnocení hlučnosti.....	30
3.1.4 Základní měřicí technika - zvukoměr.....	32
3.2 Hluk z dopravy na pozemních komunikacích.....	34

3.2.1 Zdroje hluku.....	34
3.2.2 Hluk vznikající při styku pneumatiky s vozovkou.....	35
3.2.3 Metody měření hluku z pozemních komunikací.....	37
3.3 Protihluková opatření.....	40
3.3.1 Povrchové úpravy cementobetonového krytu vozovek vedoucí ke snížení hlučnosti.....	40
3.3.2 Srovnání jednotlivých povrchových úprav cementobetonového krytu vozovek.....	44
4. Experimentální část – hodnocení speciálních povrchových úprav CB krytu vozovek vedoucí ke snížení hlučnosti.....	45
4.1 Vybrané speciální úpravy CB krytu.....	45
4.2 Výroba zkušebních vzorků.....	46
4.2.1 Receptura čerstvého betonu.....	46
4.2.2 Výroba zkušebních těles.....	47
4.3 Zkoušení čerstvého betonu pro CB kryty vozovek.....	49
4.3.1 Stanovení konzistence čerstvého betonu.....	49
4.3.2 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu.....	50
4.3.3 Stanovení objemové hmotnosti.....	51
4.3.4 Vyhodnocení zkoušek čerstvého betonu.....	52
4.4 Zkoušení ztvrdlého betonu pro CB kryty vozovek.....	53
4.4.1 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek krytu.....	53
4.4.2 Vyhodnocení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek krytu.....	58
4.4.3 Stanovení pevnosti betonu v tlaku.....	60
4.4.4 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku.....	64
4.5 Topografie speciálních povrchových úprav CB krytu .....	65
4.5.1 Princip metody chromatické aberace – optický profilometr.....	65
4.5.2 Měření topografie povrchu.....	67
4.5.3 Trojrozměrné zobrazení povrchu.....	67
4.5.4 Vyhodnocení topografie povrchu.....	69

5. Závěr.....	71
Seznam použité literatury.....	73
Seznam obrázků.....	75
Seznam tabulek .....	76
Seznam grafů.....	77
Seznam příloh.....	78

## Seznam použitého značení:

$A$	$[\text{mm}^2]$	tlačená plocha zkoušeného vzorku
CB kryt		cementobetonový kryt
$F$	$[\text{N}]$	maximální síla, kterou působí lis na vzorek
$f_{\text{ck, is, cube}}$	$[\text{MPa}]$	charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci vyjádřená jako ekvivalentní pevnost krychle 150 mm
$f_{\text{ck, is, cyl}}$	$[\text{MPa}]$	charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci vyjádřená jako ekvivalentní pevnost válce 150 mm x 300mm
$K_n$		součinitel pro stanovení 5% kvantilu charakteristické pevnosti v tlaku
$m$	$[\text{kg}]$	hmotnost zkušebního vzorku
$R_{\text{c, cu}}$	$[\text{MPa}]$	krychelná pevnost v tlaku
$R_{\text{c, cy}}$	$[\text{MPa}]$	válcová pevnost v tlaku
$s_x$		směrodatná odchylka
$V$	$[\text{m}^3]$	objem zkušebního vzorku
$V_x$		variační součinitel
$X_k$	$[\text{MPa}]$	charakteristická krychelná pevnost v tlaku
$\lambda$		štíhlostní součinitel
$\rho$	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	objemová hmotnost
$\chi_{\text{c, cy}}$		opravný součinitel krychelné pevnosti v tlaku
$\chi_{\text{cy, cu}}$		převodní součinitel



# 1. ÚVOD

Automobilová doprava je nedílnou součástí infrastruktury každého vyspělého státu. Její účinnost pak přímo závisí na kvalitě a rozsahu vybudované sítě pozemních komunikací, které mezi sebou propojují body na úrovni lokální, až po těžce využívané dopravní uzly celostátního či kontinentálního významu. Kvalita pozemní komunikace dále záleží na mnoha faktorech, kdy jedním z nejdůležitějších je vozovka. Konstrukční řešení vozovek pro dálniční a silniční síť lze zjednodušeně rozdělit na povrchové kryty asfaltové a cementobetonové (dále jen CB kryt). Obě technologie sebou přináší řadu výhod i nevýhod. Tato diplomová práce je zaměřena na technologii CB krytů a možnosti řešení hlavní nepříznivé vlastnosti, kterou představuje hlučnost.

Hluk působí na člověka a jeho životní prostředí velmi negativním vlivem a právě hluk z provozu na pozemních komunikacích byl určen jako dominantní pro lidské prostředí. Díky speciálním povrchovým úpravám CB krytu můžeme úspěšně snížit hladinu hluku, který vzniká při pojezdu pneumatiky vozidla po vozovce. Takto je možno výrazně snížit celkovou hlukovou zátěž produkovanou dopravním provozem.

Tato diplomová práce si klade jako hlavní cíl vytvořit přehled o aktuálním dění v této problematice a zhodnotit povrchové úpravy, které se v současnosti používají v České republice a v zahraničí

Teoretická část této diplomové práce obsahuje dvě tématické kapitoly, kdy v první kapitola komplexně popisuje technologii cementobetonových krytů s ohledem na nejmodernější postupy a v následující kapitole je zpracována problematika hlučnosti z provozu na pozemních komunikacích. Experimentální část práce se zaměřuje na laboratorní hodnocení vlastností vybraných povrchových úprav.

## **2. CEMENTOBETONOVÝ KRYT PRO VOZOVKY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

Cementobetonový kryt je jednou z možných technologií pro výstavbu vozovek důležitých tepen dopravní infrastruktury. Neustálým vývojem prováděcí strojní techniky, užitím kvalitních materiálů a inovacemi v postupech výroby se daří stále zlepšovat jeho vlastnosti a upevňuje se tak jeho významná role v budoucnosti dopravního stavitelství.

### **2.1 Pozemní komunikace a jejich rozdělení**

Dle současné legislativy České republiky je za pozemní komunikaci považována dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci, včetně pevných zařízení nutných pro zajištění tohoto užití a jeho bezpečnosti.

Rozdělení pozemních komunikací [34]:

- Dálnice
- Silnice
- Místní komunikace
- Účelové komunikace

#### **2.1.1 Dálnice**

Dálnice jsou pozemní komunikace určené pro rychlou dálkovou a mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly. Jsou budovány bez úrovnových křížení, disponují oddělenými místy pro nájezd a výjezd z komunikace a nedílnou součástí dálnic je pevné oddělení mezi jednotlivými směry jízdy. Užití dálnice je povoleno jen motorovým silničním vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než je stanoveno v aktuálním znění zákona o bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích.

### **2.1.2 Silnice**

Silnice jsou pozemní komunikace veřejně přístupné k užití silničními a jinými vozidly a chodci. Silnice tvoří silniční síť.

#### Rozdělení silnic dle určení a dopravního významu:

- silnice I. třídy - určená pro dálkovou a mezistátní dopravu
- silnice II. třídy - určená pro dopravu mezi okresy
- silnice III. třídy - určená pro spojení obcí a jejich napojení na ostatní komunikace

Užití silnic I. třídy je povoleno jen motorovým silničním vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než je stanoveno v aktuálním znění zákona o bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích. Stavebně technické vybavení silnic I. třídy je obdobné jako u dálnic.

### **2.1.3 Místní komunikace**

Účel místních komunikací je zajišťovat dopravu na území obce. Může být vystavěna jako místní rychlostní komunikace a pak platí obdobná ustanovení jako pro dálnici.

#### Rozdělení místních komunikací dle určení a dopravního významu:

- místní komunikace I. třídy - především místní rychlostní komunikace
- místní komunikace II. třídy - významné sběrné komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí
- místní komunikace III. třídy - obslužné komunikace
- místní komunikace IV. třídy - komunikace nepřístupná provozu silničních motorových vozidel nebo na které je umožněn smíšený provoz

## 2.1.4 Účelové komunikace

Účelové komunikace slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků těchto nemovitostí nebo k napojení nemovitostí na ostatní pozemní komunikace. Zařazují se zde i komunikace určené pro obhospodařování zemědělských a lesních pozemků. Do této skupiny spadají také pozemní komunikace v uzavřeném prostoru nebo objektu, které slouží potřebě vlastníka nebo provozovatele daného prostoru nebo objektu.

Tab. 1 Délka silniční sítě [26]

Kraj	dálnice	rychlostní silnice	silnice I. třídy	silnice II. třídy	silnice III. třídy	cekem
	[km]					
hlavní město Praha	10,6	33,6	9,7	29,6	-	83,5
kraj Středočeský	194,2	152,1	661,2	2373,2	6256,2	9637,0
kraj Jihočeský	15,4	7,4	653,7	1643,8	3808,6	6128,8
kraj Plzeňský	109,2	-	420,9	1500,0	3098,8	5129,0
kraj Karlovarský	-	27,3	208,7	470,9	1346,9	2053,8
kraj Ústecký	52,6	12,3	480,2	906,4	2751,8	4203,3
kraj Liberecký	-	22,2	310,2	486,6	1606,2	2425,3
kraj Královéhradecký	16,8	-	444,3	892,9	2419,0	3772,9
kraj Pardubický	8,8	3,1	456,5	912,4	2220,8	3601,7
kraj vysočina	92,5	-	427,4	1639,5	2940,2	5099,6
kraj Jihomoravský	134,5	25,8	420,8	1474,0	2425,0	4480,0
kraj Olomoucký	33,2	90,5	344,1	923,8	2174,3	3565,9
kraj Zlínský	12,5	16,0	342,1	572,6	1196,7	2140,0
kraj Moravskoslezský	53,5	32,0	652,5	809,0	1884,2	3431,2
<b>Celkem:</b>	<b>733,9</b>	<b>422,3</b>	<b>5832,3</b>	<b>14634,8</b>	<b>34128,6</b>	<b>55751,9</b>

## 2.2 Typy vozovek na pozemních komunikacích

Vozovky aplikované pro realizaci pozemních komunikací se mohou dle použitého materiálu a technologie provádění rozdělit:

- štěrkové vozovky
- asfaltové vozovky s nestmeleným podkladem
- asfaltové vozovky s podkladem stmeleným cementem
- cementobetonové vozovky
- kompozitní vozovky a asfaltovými vrstvami a vrstvami stmelenými cementem
- vozovky s dlažebními prvky

Použití jednotlivých typů vozovek je vzhledem ke konstrukčnímu řešení a užitým materiálům různé a nejsou tak univerzálně použitelná pro všechny třídy pozemních komunikací. Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku hlučnosti cementobetonových vozovek, kdy tato technologie je v praxi užívána primárně pro dálnice a silnice I. třídy. Pro stejné třídy pozemních komunikací je také použita technologie asfaltové vozovky s nestmeleným nebo stmeleným podkladem.

## **2.3 Cementobetonové kryty vozovek - charakteristika**

Historie výstavby cementobetonových vozovek se datuje do období 2. poloviny 19. století, kdy byly uskutečněny první pokusy ve Velké Británii a následně v USA. Na našem území se první záznamy o výstavbě objevují ještě před 2. světovou válkou. Za uplynulých 80 let technologie CB krytů vozovek prošla obrovským vývojem především pak v západní Evropě a USA. V České republice výstavba cementobetonových vozovek probíhala paralelně, ale kvalita a jízdní vlastnosti výrazně zaostávaly. Teprve v posledních 20 letech se díky otevřené situaci v Evropě dostávají na naše území postupy a technologie, které vedou k realizaci vozovek s dlouhou životností a odolností vůči dopravnímu zatížení.

### **2.3.1 Základní typy cementobetonového krytu vozovek**

#### Nevyztužené cementobetonové kryty s dodatečně řezanými spárami

Nevyztužené CB kryty s dodatečně vyřezanými podélnými a příčnými spárami jsou nejčastěji budované typy betonových vozovek především ve střední Evropě, zejména pak v České republice, Německu a Rakousku. Tento typ CB krytu může být betonován v jedné nebo dvou vrstvách. V současnosti se pro pozemní komunikace nejčastěji používá dvouvrstvý CB kryt, který vyniká velmi rovnými povrchy a možností přesnějšího vkládání výztužných prvků. Jednovrstvé CB kryty nacházejí své uplatnění na méně zatížených konstrukcích, jakými jsou odbočovací a připojovací pruhy, parkoviště a odstavné plochy. Tloušťka betonované vrstvy se pohybuje v rozmezí 240 – 300 mm. Při betonáži se do čerstvého betonu vkládají výztužné prvky zamezující pohybům vybetonované desky. Do oblasti příčných spár

se vkládají kluzné trny v osově vzdálenosti 250 mm. Trny jsou opatřeny povlakem, který zamezuje přilnutí k betonu. Funkce trnů je zamezit vzniku výškové nerovnosti v příčném směru. Do oblasti podélných spár jsou umísťovány kotvy z betonářské výztuže, které jsou opatřeny antikorozním nátěrem minimálně 100 mm na každou stranu od středu kotvy. Po dostatečném zatvrdnutí betonové desky se provede řezání spár pomocí diamantového kotouče. Spáry se následně vyplní zálivkou nebo tvarovanými těsníci profily.

### Spojité vyztužené cementobetonové kryty

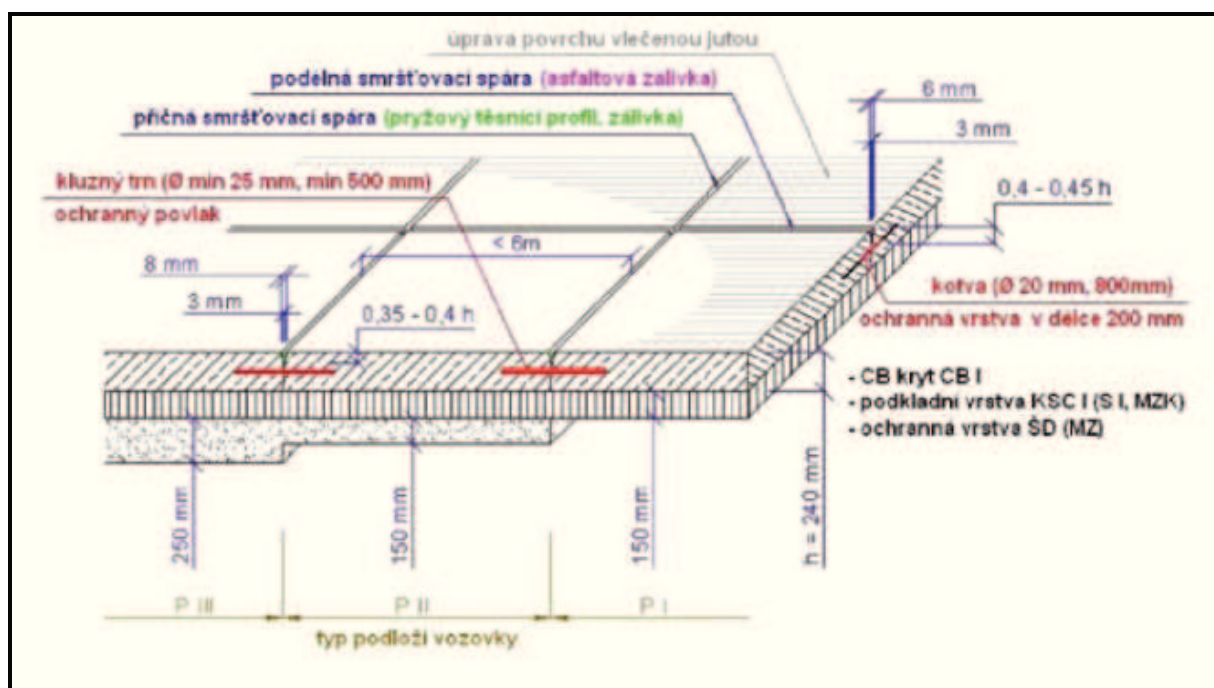
Výhodou spojitě vyztužených CB krytů je absence příčných spár. Výjimkou jsou pracovní a dilatační spáry, které je nutno zřídit z důvodu změny materiálu krytu vozovky nebo u objektů na vozovce (např. mosty). V České republice tato technologie není zcela běžná, využívá se především při betonáži vozovek v tunelech a pro stavbu letištních ploch. Důležitým prvkem technologického postupu je ukládání výztuže, která může být kladena před finišerem nebo mechanicky současně s betonáží. Druhý způsob vyžaduje vysoké nároky na technické vybavení finišeru, které umožní kladení výztuže. Spojité vyztužené CB kryty jsou vyztuženy v příčném i podélném směru. Nevýhodou tohoto typu CB krytu je možnost vzniku smršťovacích trhlin, které rozruší povrch vozovky a umožní tak průstup látkám zapříčiňujícím degradaci betonu hlouběji do CB krytu.

### **2.3.2 Hlavní přednosti cementobetonového krytu vozovek**

CB kryt vozovek vyniká v první řadě svou dlouhou životností a odolností vůči dopravnímu zatížení. Při dodržení technologických postupů, užitím vhodných materiálů a zajištěním staveništní kázně se docílí životnosti 35 – 50 let, na rozdíl od vozovek s asfaltovým krytem, které mají životnost 10 – 15 let. Výborná odolnost betonu vůči dopravnímu zatížení zamezuje vzniku vyjetých kolejí, která je u asfaltových vozovek nejčastějším projevem poruchy, způsobeným nadměrným provozem těžké automobilové dopravy.

Světlý povrch CB krytu vozovky je v letních měsících méně zahříván slunečním zářením a v nočních hodinách nepohlcuje světlo, čím přispívá k bezpečnější jízdě. Cementobetonová vozovka dále disponuje velmi dobrými protismykovými vlastnostmi, kterých se dosahuje zásahem do struktury povrchu bezprostředně po provedení betonáže.

Současná technologie provádění CB krytů již zcela zamezuje rozšiřování dilatačních spár a vzniku schodů na spárách, které se vyskytují na vozovkách vybudovaných v 70. a 80. letech. Spáry jsou v současnosti vybaveny kotvami a kluznými trny, zamezujícími nežádoucímu pohybu ve spárách.



Obr. 1 Charakteristická skladba dvouvrstvého cementobetonového krytu [29]

Kladné vlastnosti CB krytu vozovek na druhé straně zastiňuje několik záporných charakteristik. Jednou z nejzávažnějších je hlučnost, která výrazně narušuje jízdní komfort v automobilu a nebezpečně zasahuje do běžného života obyvatel vyskytujících se v okolí pozemních komunikací. CB kryty mají v porovnání s asfaltovým krytem větší pořizovací náklady, ale náklady na celoživotní údržbu jsou pak výrazně nižší. Poslední problematikou spjatou s CB krytem jsou déle trvající a technologicky náročnější opravy poškozené části vozovky. V současnosti se pro opravy používají betonové směsi s rychlým náběhem pevností a realizace opravy celých desek se pohybuje v čase do 36 hodin.

## 2.4 Požadavky na materiály pro cementobetonové kryty vozovek

CB kryty vozovek pro dálnice a silnice I. třídy spadají do kategorie CB I (Tab. 2). Jsou tak zařazeny do nejpřísnější kategorie pro pozemní komunikace a musí vyhovovat následujícím požadavkům:

Tab. 2 Členění cementobetonových krytů [13]

Zařazení do skupin	Specifikace komunikace	Třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114
L	letištní dráhy a plochy (zejména letiště s délkou hlavní vzletové a přistávací dráhy v konečném výhledu delší než 1200 m)	-
I	dálnice, mezinárodní silnice, rychlostní silnice a místní komunikace rychlostní třídy A1	I - II
II	většina silnic I. Třídy a místní komunikace rychlostní třídy A2	II - III
III	silnice II. a III. Třídy, sběrné komunikace a parkoviště pro nákladní vozidla	III - IV
IV	ostatní místní komunikace, účelové komunikace a parkoviště pro osobní vozidla	IV - VI

### 2.4.1 Kamenivo

Kamenivo je jednou z elementárních složek betonu, tvoří jeho nosný skelet a zabírá až 80% z celkového objemu. Pro účely betonů pro CB kryty se využívá kvalitní drcené a těžené kamenivo. Maximální velikost zrna kameniva nesmí být větší než jedna čtvrtina tloušťky betonované vrstvy. Drobné kamenivo frakce 0-4 je zastoupeno těžným kamenivem. Hrubé drcené kamenivo je v betonu obsaženo ve frakci 4-32. Velký důraz je kladen na čistotu kameniva bez obsahu jílových složek a organických částic.



### Požadavky na kamenivo [13]:

#### *Hrubé kamenivo*

- minimální třída kameniva B ( dle ČSN 72 1512 )
- mrazuvzdornost -  $Q_{mm} = \text{max. } 3\%$
- trvanlivost -  $Q_m = \text{max. } 8\%$
- součinitel ohladitelnosti kameniva  $f_{ok} = \text{min. } 0,50$  ( dle ČSN 72 1182 )

#### *Drobné kamenivo*

- minimální třída kameniva A ( dle ČSN 72 1512 )
- podíl zrn velikosti pod 0,5 mm  $a_{05} = 25\% - 45\%$  ( dle ČSN 72 1183 )
- obsah částic volné slídy  $p = \text{max. } 0,5\%$

### **2.4.2 Cement**

Cement je další z elementárních složek betonu, zastává funkci pojiva a je nejdražší surovinou. Pro betony CB krytů je nejčastěji používán portlandský cement CEM I 42,5 splňující parametry ČSN P ENV 197-1. Při provádění dvouvrstvých CB krytů musí být použit cement stejné třídy a stejného výrobce pro obě vrstvy.

### Požadavky na cement [13]:

- předepsaná třída cementu CEM I 42,5 splňující parametry podle ČSN P ENV 197-1 a následující požadavky:
- ztráta žíháním nesmí překročit v době expedice 3 % hmotnosti cementu
- obsah MgO v použitém křemičitanovém slínku nesmí překročit 5% hmotnosti slínku
- obsah  $C_3A$  nesmí být vyšší než 8% hmotnosti
- kyselinou nerozložitelný podíl v cementu nesmí být větší než 1,5% hmotnosti cementu
- obsah oxidu  $SO_3$  nesmí být větší než 3,5% hmotnosti cementu
- měrný povrch cementu musí být v rozmezí  $225 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  až  $350 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
- počátek tuhnutí nesmí nastat dříve jak za 90 minut
- doba tuhnutí cementu musí být ukončena do 12 hodin

### 2.4.3 Záměsová a ošetřovací voda

Voda musí vyhovovat ustanovení EN 1008. Nesmí být znečištěna látkami, které by negativně ovlivňovaly vlastnosti betonu. Zdroj vody by měl být zvolen tak, aby nedošlo k znečištění vody během odběru. Všeobecně platí zásada vhodné použitelnosti pitné vody z vodovodního řádu.

### 2.4.4 Příměsi a přísady

Přísady a příměsi musí splňovat požadavky ČSN EN 206-1: 2001+Z3.2008. Použitím těchto látek můžeme upravit některé vlastnosti betonu. Přísady do betonu jsou chemické látky, které dávkuje při výrobě čerstvého betonu v množství do 5% z hmotnosti cementu. Při výrobě čerstvého betonu pro CB kryty se používají plastifikační a provzdušňovací přísady.

#### Plastifikační a superplastifikační přísady

Plastifikační přísady ovlivňují zpracovatelnost čerstvého betonu a umožňují redukovat množství záměsové vody. Použitím plastifikačních přísad se docílí snížení hodnoty vodního součinitele až o 0,05 při zachování stejné zpracovatelnosti. Menší spotřeba vody pak přispívá ke zlepšení pevnostních a trvanlivostních vlastností CB krytu. Plastifikační přísady můžeme rozdělit na dva základní typy – obyčejné plastifikátory a superplastifikátory. Rozdíl je především v chemickém složení, mechanismu působení a účinnosti látky. Obyčejné plastifikátory snižují dávku záměsové vody v rozsahu 5 - 15%. Nejčastěji užívané jsou plastifikátory na bázi lignosulfátů a jejich derivátů, hydrokarboxyových kyselin a jejich derivátů a karbohydrátů. Superplastifikátory dokáží zredukovat množství vody běžně v rozsahu 15 - 30% (polykarboxylátové superplastifikátory i o více jak 30%). Chemické báze superplastifikátorů jsou modifikované lignosulfonáty, sulfonované melamin-formaldehydové kondenzáty, naftalén-formaldehydové kondenzáty a polykarboxyláty [27]. Pro betony na výrobu CB krytů se uplatňují superplastifikátory na bázi sulfonovaných oligokondenzátů formaldehydů s melaminem nebo naftalénem, které sterickým působením dispergují zrna cementu. Jsou účinnější než běžné plastifikátory na lignosulfanové bázi, které zrna cementu dispergují elektrostaticky. [33]

### Provzdušňovací přísady

Provzdušňovací přísady významně ovlivňují odolnost betonu vůči působení mrazu a agresivitě chemických solí. Při míchání čerstvého betonu zapříčiňují vznik uzavřených a navzájem oddělených vzduchových pórů, které jsou rovnoměrně rozptýleny v čerstvém betonu a kde setrvávají i po zatvrdnutí. Vlivem účinku mrazu se voda obsažená v kapilárách mění v led a nabývá na svém objemu, soustava pórů vytváří pro tyto objemové změny expanzivní prostor a snižuje tak hydrostatický tlak v pórovité struktuře. Obdobně působí i při růstu krystalů agresivních chemických solí. Velikost vzduchových pórů se pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,3 mm a jejich vzájemná vzdálenost by neměla přesahovat hranici 0,25 mm. Tento předpoklad je charakterizován součinitelem prostorového rozložení vzduchových pórů  $L$  (tzv. spacing factor), který definuje průměrnou maximální vzdálenost kteréhokoliv bodu v cementovém kameni od okraje póru. Provzdušňovací přísady jsou vyráběny na chemických bázích syntetických tenzidů, produktů mastných kyselin a přírodních pryskyřic.

### Požadavky na přísady [27]:

- přísada nesmí segregovat
- hodnota pH od deklarovaného stavu může mít toleranci  $\pm 1$
- obsah chloridů má být do 0,1 % hm
- obsah alkálií nemá překročit definovanou hodnotu výrobcem
- přísada nesmí korozivně napadat ocelovou výztuž

### **2.4.5 Výztuž**

#### Kotevní tyče

Kotevní tyče se ukládají v průběhu betonáže CB krytu do oblasti podélných spár. Úkolem této výztuže je zamezit horizontálnímu i vertikálnímu pohybu desek CB krytu. Kotevní tyče mají být vyrobeny z oceli třídy B250 nebo B 500 a o rozměrech  $\varnothing 10 - 20$  mm při délce 800 mm [9]. Kotevní tyče mohou být po prořezání spáry v důsledku netěsnosti výplně spáry vystaveny korozivním činitelům, z tohoto důvodu musí být opatřeny antikorozní povrchovou úpravou v rozsahu 100 mm na každou stranu od středu tyče.

### Kluzné trny

Kluzné trny se ukládají v průběhu betonáže CB krytu do oblasti příčných spár. Zamezují vertikálnímu pohybu desek v oblasti příčných spár a eliminují tak riziko vzniku výškových rozdílů mezi jednotlivými deskami. Kluzné trny jsou upraveny hladkou povrchovou úpravou z asfaltu nebo tenké vrstvy plastu o tloušťce do 1,25 mm, která zamezuje přilnutí k betonu. Je tak umožněn pohyb trnu ve horizontálním směru a zamezení vzniku smršťovacích trhlin při zrání betonu vlivem objemových změn nebo teplotní proměnlivosti. Kluzné trny jsou vyráběny z hladké oceli o rozměrech  $\varnothing 16 - 20$  mm při délce 500 mm. Pevnost v tahu trnu musí být nejméně 250 MPa [10].



Obr. 2 Kluzné trny



Obr. 3 Kotevní tyče

#### **2.4.6 Kvalitativní požadavky ztvrdlého betonu dle ČSN EN 13877-1**

- třída pevnosti v tlaku C30/37 (dle ČSN EN 206-1)
- pevnost v tahu ohybem  $f_{fk} = 4,5$  MPa
- stupeň vlivu prostředí XF 4
- maximální variační koeficient 10%
- pevnost v tlaku na zlomcích trámů  $f_{ck} = 32$  MPa
- minimální počet cyklů působení vody a rozmrazovacích solí 100/75 (metoda A/C dle ČSN 73 1326 ) s maximálním odpadem  $1000 \text{ g.m}^{-2}$
- maximální součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů 0,24 mm

## 2.5 Složení betonu pro cementobetonový kryt vozovek

Návrh složení betonové směsi pro CB kryty musí být vytvořen tak, aby se dosáhlo kvalitativních parametrů čerstvého betonu dle *Tab. 3* a zároveň byly splněny kvalitativní požadavky ztvrdlého betonu dle ČSN EN 13877-1. Při návrhu betonové směsi je nutné brát ohledy na okolnosti spjaté s délkou a způsobem dopravy, aktuálními klimatickými podmínkami a způsobu zpracování betonové směsi na staveništi.

*Tab. 3* Složení a kvalitativní parametry čerstvého betonu [13]

parametry	třídy cementobetonových krytů				
	L	I	II	III	IV
minimální počet frakcí kameniva	3			2	2
frakce kameniva	0-4			0-4	
	4-8			4-8	
	8-16			8-22	0-8
	16 - 22			8-32	8-32
	16 - 32				
minimální množství cementu	370			350	330
maximální vodní součinitel	0,45			0,5	
minimální obsah vzduchu	největší zrno 32 mm			4	
	nejmenší zrno 16 mm			5	

Návrh betonové směsi je možno rozčlenit do tří hlavních kroků:

- Návrh směsi kameniva
- Návrh množství cementu
- Stanovení množství záměsové vody

### Návrh směsi kameniva

Zrnitost kameniva se stanoví na souboru normovaných sít a navzájem se mísí v poměru, aby výsledná zrnitost byla v mezích stanovených technickou normou ČSN 73 6123 (*Tab. 4*). Směs kameniva by měla být sestavena tak, aby disponovala co nejmenší mezerovitostí, kdy nevyplněný prostor následně zaplní cementový tmel. Poměr hrubého a drobného kameniva by měl být v poměru 3:2 až 2:1, což v hmotnostních procentech z celkové

hmotnosti kameniva představuje 60 až 67% hrubého kameniva a 33 – 40% kameniva drobného.

*Tab. 4* Obor zrnitosti směsi kameniva cementobetonového krytu  
s největším zrnem 32 mm [13]

Označení síta	Propad zrn v % hmotnosti	
	Skupina vozovek L, I, II	Skupina vozovek III, IV
<b>32</b>	100	100
<b>16</b>	51-72	48-82
<b>8</b>	37-51	33-65
<b>4</b>	28-42	24-52
<b>2</b>	20-34	16-43
<b>1</b>	14-26	11-34
<b>0,5</b>	8-18	6-22
<b>0,25</b>	3-9	1-11

#### Návrh množství cementu

Minimální množství cementu je dáno technickou normou ČSN 73 6123 a stanovuje se s ohledem na skupinu vozovek, pro kterou je daný CB kryt určen. Minimální množství cementu v souladu s touto technickou normou je pro jednotlivé skupiny vozovek znázorněno v *Tab. 3*. Ideální množství cementu v betonu je takové, kdy cementový tmel obalí všechny zrna kameniva a vyplní mezery mezi zrny s přebytkem 1 – 5%.

#### Návrh množství záměsové vody

Množství záměsové vody je vyjádřeno vodním součinitelem. Vodní součinitel je poměr mezi množstvím vody a množstvím cementu. Z hlediska pevnostních charakteristik betonu by hodnota vodního součinitele měla být co možná nejmenší. Nízká hodnota vodního součinitele však sebou přináší zhoršenou zpracovatelnost betonu. Pro účely silničních betonů se hodnota vodního součinitele pohybuje v rozmezí od 0,4 – 0,5. Při technologii zpracování betonu finišerem s posuvnými bočnicemi se hodnota vodního součinitele pohybuje v rozsahu 0,45 – 0,5. Z důvodu zpracovatelnosti je možné provádět korekci záměsové vody v betonu, vždy je ale nutné dodržet předepsané množství cementu.

## **2.6 Výroba betonu pro cementobetonový kryt vozovek**

Čerstvý beton se vyrábí dle technologického předpisu, ve kterém je stanoveno množství jednotlivých složek, způsob jejich dávkování, doba a způsob míšení. Míšení musí být prováděno v míchačkách, které svým výkonem zaručují důkladné promíchání jednotlivých složek a výrobu homogenního betonu, který bude po transportu na staveniště plynule zpracovatelný finišerem. Dávkování jednotlivých složek je prováděno plně automatizovaným dávkovacím zařízením cyklického nebo kontinuálního typu s přesností dávkování minimálně 3%. Samotný proces míchání se provádí v míchacích zařízeních, které podle způsobu míchání můžeme rozdělit do dvou typů. Cyklické míchačky mají větší přesnost dávkování a produkují lépe homogenizovaný beton. Kontinuální míchačky vynikají větším výkonem, ale disponují méně kvalitním dávkováním a homogenizací. Výroba betonu pro CB kryty nejčastěji probíhá v mobilních betonárnách, které jsou vybudovány v přijatelném dosahu od staveniště. Mobilní betonárny jsou schopny produkovat 100 – 300 m<sup>3</sup> betonu za hodinu, dle potřeby a výkonu finišeru [14]. Při výrobě betonu je nutné dbát na dobu zpracovatelnosti a čas začátku tuhnutí betonu, kdy ovlivňujícím faktorem je teplota čerstvého betonu. V letním období při teplotě vzduchu více než +25°C nesmí teplota čerstvého betonu překročit +30°C. Při teplotě +1 až +5 °C teplota čerstvého betonu při kladní nesmí být menší než 5°C.

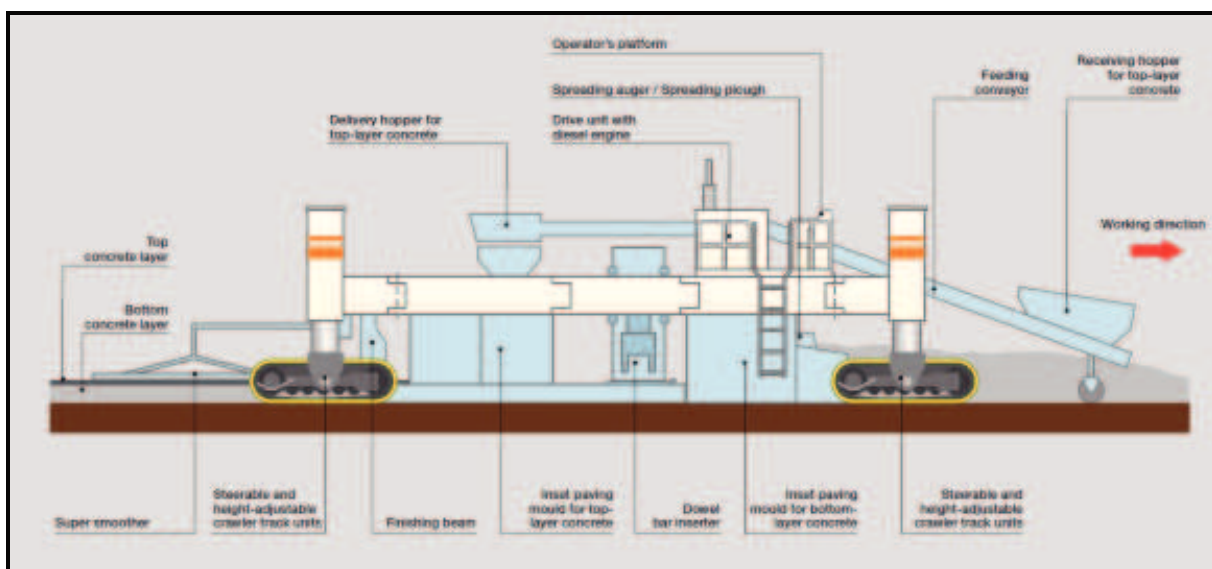
## **2.7 Doprava betonu pro cementobetonový kryt vozovek**

Betonová směs se při dopravě nesmí rozmísit, hutnit a nesmí začít tuhnout. Z betonáren se na stavbu beton dopravuje sklápěcími nákladními automobily s vodotěsnou korbou nebo v autodomíchavačích. Maximální doba pro dopravu čerstvého betonu je dána časem od přidání záměsové vody. Nákladní automobily vykládají čerstvý beton čelně před finišer, na celou šířku betonového pásu. V případě že takováto vykládka je z nějakého důvodu omezena, může čerstvý beton dále dopravovat nakladač, pásovým dopravníkem či jiným způsobem.

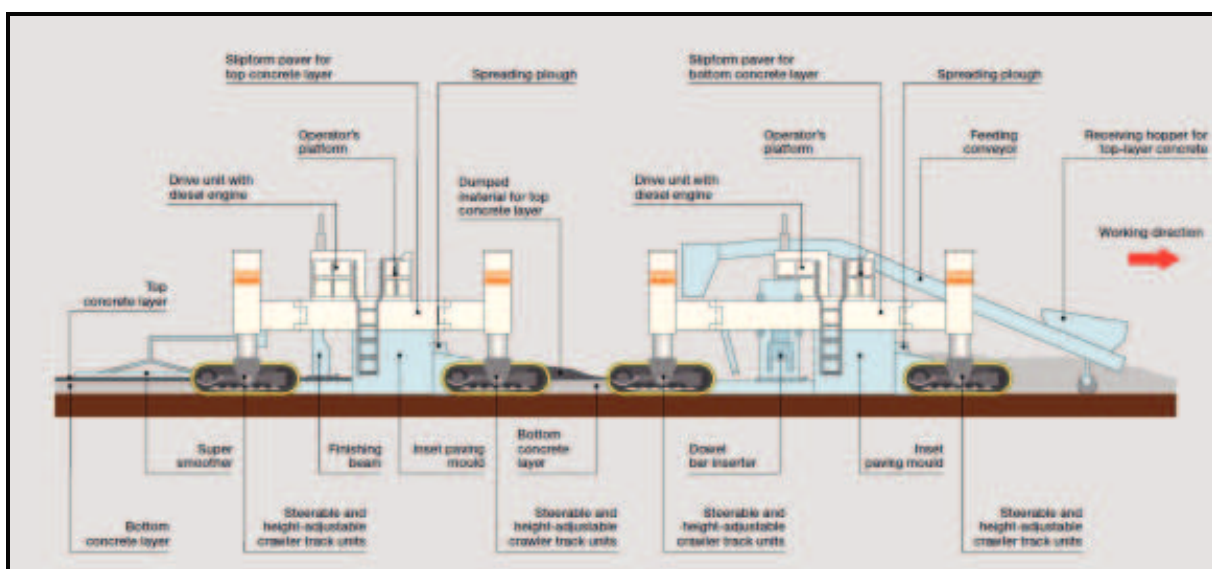


## 2.8 Zpracování betonu pro cementobetonový kryt vozovek

Betonáž CB krytů se provádí těžkými stavebními stroji tzv. finišery. V současnosti je nejmodernější technologií betonáž pomocí finišerů s posuvnými bočnicemi, které slouží jako dočasné bednění. Pokládka CB krytu může být prováděna jedním samostatným finišerem nebo soupravou, kde je díky vyššímu stupni automatizace nutná jen malá řídící posádka. Jednotlivé technologie jsou znázorněny na schématech *Obr. 4* a *Obr. 5*.



*Obr. 4* Schéma betonáže dvouvrstvého cementobetonového krytu – samostatný finišer [30]



*Obr. 5* Schéma betonáže dvouvrstvého cementobetonového krytu – souprava [30]



Pro technologii betonáže finišery s posuvnými bočnicemi je důležitá konzistence čerstvého betonu. Čerstvý beton se při rychlosti betonáže 1,6 až 3,2 metrů za minutu udržuje mezi kluznými bočnicemi 4 – 7 minut. Z tohoto důvodu je nutné, aby konzistence čerstvého betonu stanovená přístrojem VeBe byla v rozmezí 10 – 5 s (odpovídající stupni V3 ), kdy při odsunutí bočnic nepoklesnou hrany čerstvě vybetonovaného krytu vozovky.

Hutnění čerstvého betonu je prováděno ponornými vibrátory a tlakem tvarovací desky, která je podporována provozní hmotností finišeru pohybující se dle typu a vybavení v rozsahu 16 - 140 tun. Moderní finišery jsou schopny provádět pokládku o šířce 2 – 16 m a zpracovávat vrstvu čerstvého betonu do mocnosti 460 mm. Finišery dosahují provozní rychlosti až  $6 \text{ m.s}^{-1}$ , běžně se užívá rychlosti  $3 \text{ m.s}^{-1}$ .

Finišery jsou dále vybaveny podávacím mechanismem pro vtlačování příčných a podélných výztužných prvků do čerstvého betonu (*Obr. 6*).



*Obr. 6* Podavač výztužných prvků

Přesnost betonáže je koordinována polohovacím zařízením, které kontroluje výškovou i směrovou pozici finišeru. Vodícím prvkem pro polohovací zařízení je nejčastěji pevně

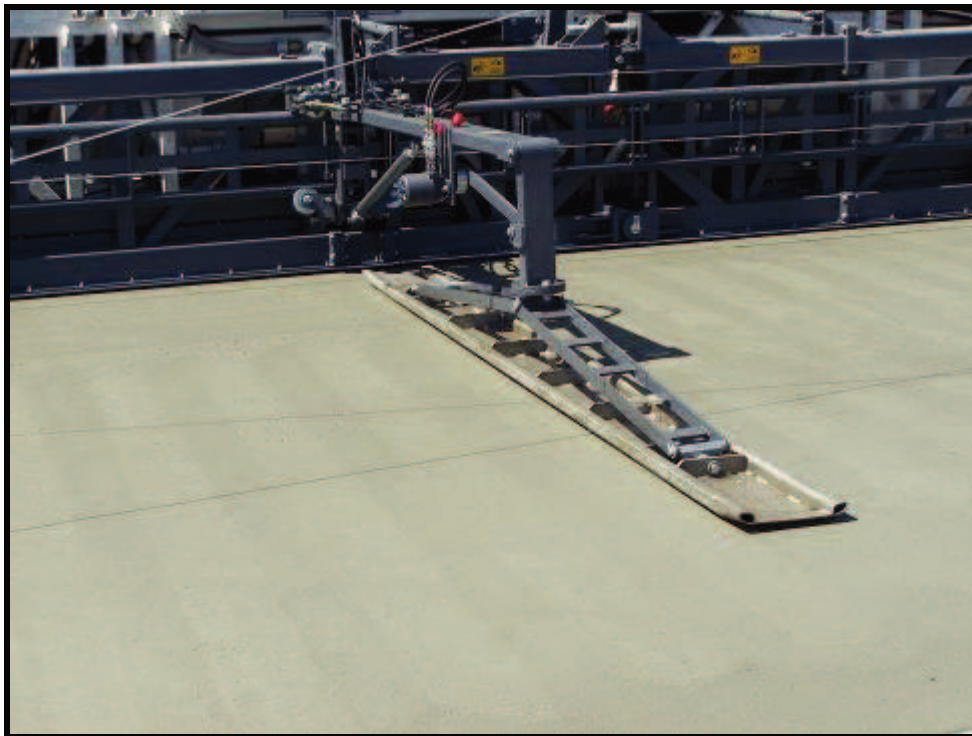
natažený ocelový drát, který byl před započítím práce finišeru přesně osazen na krajích budoucí vozovky. Přesnost osazení vodícího drátu by neměla být odchýlena o více než 3 mm. Pro vyloučení odchylky z důvodu průhybu vodícího drátu, by opěrné podpory drátu neměly být ve větší vzájemné vzdálenosti než 10 m.

Transport finišeru mezi staveništi je zajišťována nákladní dopravou, jelikož transportní rychlost finišeru se pohybuje v rozmezí  $20 - 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Na staveništi je však finišer zcela soběstačný a není nutno využívat manipulační techniky pro polohování stroje ani pro jeho nakládku a vykládku z transportního podvozku [30].

## **2.9 Úprava a ochrana povrchu čerstvého cementobetonového krytu**

Proces betonáže finišerem je ukončen povrchovou úpravou zhutněné betonové vrstvy. Úprava je prováděna hladicí lištou, která je součástí finišeru. Lišta se po zhutněné betonové vrstvě pohybuje v příčném i podélném směru a dohlazuje nerovnosti vzniklé během betonáže (*Obr. 7*). Následně za finišerem pojíždí konstrukce, na které je zavěšen jutový pás. Jutovina má dvojí účel, kdy pomáhá odstraňovat přebytečnou vodu na povrchu a dále vytváří strukturu, která slouží ke snížení hlučnosti a zlepšení protismykových vlastností během provozu na komunikaci. Další drobné lokální opravy povrchu jsou prováděny proškolenými pracovníky za pomoci ručních nástrojů.

Závěrečnou úpravou čerstvého CB krytu je opatření proti odpařování vody. Především pak v letních měsících vlivem vysokých teplot hrozí riziko vzniku smršťovacích trhlin a narušení pevnostních charakteristik ztvrdlého betonu. V současnosti se pro ochranu povrchu používají postřiky, které zabraňují odpařování vody a zároveň působí hydrofobizačně. Postřík je nanášen ze samostatně pojízdné strojní lávky, která je vybavena postřikovacím případně i zametacím zařízením (*Obr. 8*). Postříkem se na povrchu vytvoří rovnoměrný nepropustný film, který by měl zůstat minimálně po 7 dní neporušen. Odstranění ochranného filmu by mělo proběhnout samovolně vlivem povětrnostních podmínek přibližně do 30 dní od nanesení postříkem [16]. Ochranný postřík nesmí narušovat průběh tuhnutí a tvrdnutí betonu.



*Obr. 7 Hladící lišta*



*Obr. 8 Aplikace ochranného postřiku proti odpařování vody*

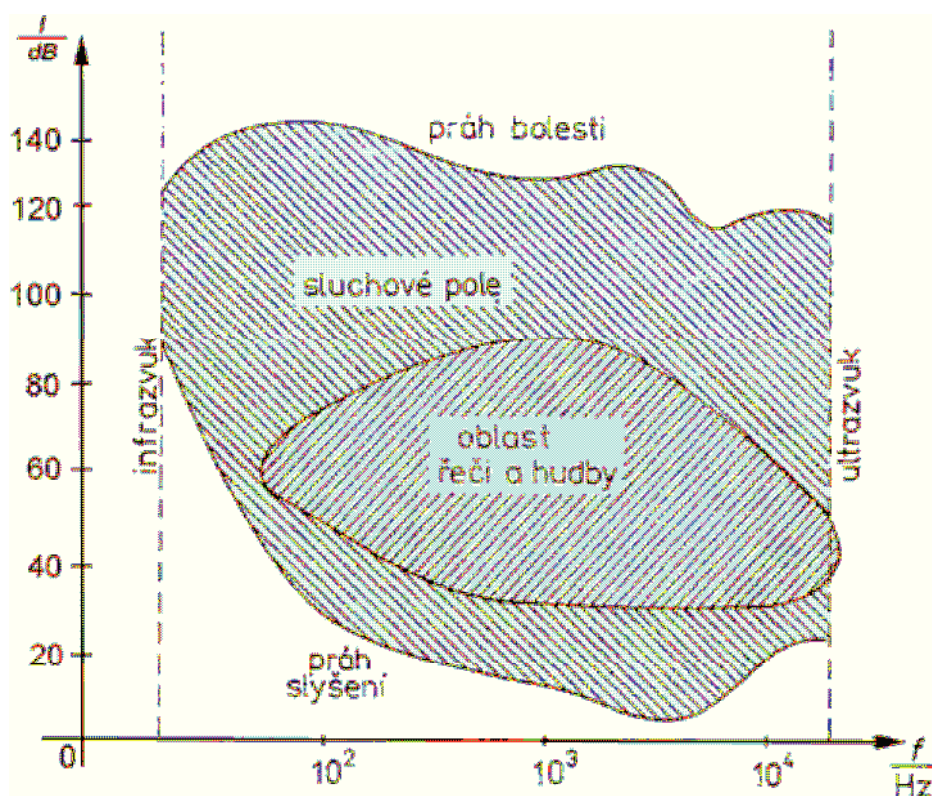


### 3. HLUČNOST CEMENTOBETONOVÉHO KRYTU VOZOVEK

#### 3.1 Hluk

##### 3.1.1 Definice hluku

Za hluk je považován každý zvuk, který nepříznivě působí na člověka a jeho životní prostředí. Podstatou zvuku (hluku) je mechanické vlnění, které se šíří látkovým prostředím a je zachycováno lidským zvukovým receptorem – uchem. Lidské ucho je schopno zaznamenávat zvuk ve frekvenčním rozsahu 20 – 20 000 kmitů za sekundu, vyjadřovanou jednotkou hertz [Hz]. Tento rozsah se nazývá oblast slyšitelnosti. Vlnění o frekvencích pod 20 Hz se nazývá infrazvuk a vlnění s frekvencí nad 20 000 Hz se nazývá ultrazvuk. Lidské ucho zaznamená zvuk jen, je-li jeho frekvence nad prahem slyšitelnosti, tento práh se může vlivem věku a poškození sluchového orgánu u jednotlivých osob měnit. Zvuk o velké intenzitě může u člověka vyvolat pocit bolesti, v takovém případě se jedná o překročení prahu bolesti.



Obr. 9 Sluchové pole lidského ucha [20]

### 3.1.2 Vliv hlučnosti na lidský organismus

Hlučnost negativně ovlivňuje lidský organismus v závislosti na frekvenci, šířce zvukového spektra, kontinuitě nebo pulznosti hluku a délce působení na organismus. Může působit nežádoucími, nepříjemnými nebo škodlivými účinky. Vliv hluku na lidskou populaci je často vnímán až s odstupem času, negativní dopad není totiž tak patrný jako např. kvalita ovzduší nebo pitné vody. Účinky hluku můžeme rozdělit na sluchové účinky a účinky mimosluchové.

#### Sluchové účinky hluku

Tyto účinky přímo zasahují činnost sluchové ústrojí člověka a mohou jej trvale poškodit. Jedná se především o akustické trauma, které vzniká krátkodobým účinkem velmi silného hlukového impulsu. Hodnota akustického tlaku se pohybuje v rozmezí 100 – 140 dB. Vlivem neočekávaného krátkého zvukového vjemu o vysoké hodnotě nedojde ke spuštění obranného mechanismu vnitřního ucha a působením náhlé změny tlaku dochází k mechanickému poškození orgánu středního a vnitřního ucha. Obdobou tohoto úrazu je explosivní trauma, které je navíc doprovázeno ztrátou rovnováhy a možností poranění dýchacích cest. Při nárazovém impulsu nad 180 dB může dojít až k protržení bubínku.

V případě působení dlouhotrvající hlukové zátěže může docházet k chronickému akustickému traumatu. Vlivem dlouhodobého zatížení dochází k přetěžování sluchového ústrojí a k zániku smyslových buněk. Prvotním příznakem chronického akustického traumatu je zhoršená schopnost rozlišovat jemné zvuky. Dlouhodobým vystavením hlukové zátěže může dojít až k zhoršení sluchového vnímání na úrovni hovorové řeči.

#### Mimosluchové účinky hluku

Tyto účinky působí na jiné než sluchové ústrojí člověka. Nejzávažnějšími jsou vlivy na centrální nervový systém. Narušením centrálního nervového systému dochází k hormonálním změnám, vegetativním a biochemickým reakcím, poruchám spánku, vzniku stresu a únavy, poruchám štítné žlázy a dalších orgánům. Vliv hluku dále ovlivňuje motorické a smyslové

funkce člověka. Podporuje tak poruchy pohybové koordinace a změny zrakového pole vedoucí k větší úrazovosti. Nárůst nervozity a ztráta emocionální rovnováha je dalším z důsledků působení hluku. V neposlední řadě pak ztráta možnosti komunikace v hlučném prostředí vede k ovlivnění sociálních funkcí.

### 3.1.3 Hodnocení hlučnosti

Dle současných legislativních předpisů je hlučnost hodnocena ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq}$ . Tato veličina vyjadřuje závislost změny hladiny akustického tlaku na čas a stanoví se jako energetický průměr okamžitých hladin akustického tlaku  $A$  vyskytující se v daném časovém intervalu. Je vyjadřována v decibelech [dB]. Nevyšší přípustná hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq}$  je stanovena příslušnými platnými předpisy.

Vztah pro výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq}$  [22]:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{\sum_{i=1}^n f_i} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot 10^{0,1L_i}.$$

Kde:

$f_i$  – míra četnosti výskytu hladin z měřeného časového úseku v sekundách, procentech nebo četnosti čtení

$L_i$  – střední hladina v  $i$ -tém hladinovém intervalu [dB]

V současnosti je nejvyšší přípustná hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku stanovena v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Hygienické limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru, s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku, se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq,T}$ . V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin ( $L_{Aeq,8h}$ ). Přes noc se stanoví pro nejhlučnější 1 hodinu ( $L_{Aeq,1h}$ ). Pro dopravní hluk na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického

tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq,T}$  stanoví pro celou denní ( $L_{Aeq,16h}$ ) a celou noční dobu ( $L_{Aeq,8h}$ ) Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $A$ , s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku, se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku  $A$   $L_{Aeq,T}$  o hodnotě 50 dB a korekcí zohledňující druh chráněného prostoru a denní nebo noční dobu. Zdroje vysoce impulsního hluku se dále korigují hodnotou – 12 dB.

Jedná-li se o hluk s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích a drahách, a hluku s výrazně informačním charakterem, přičte se další korekce –5 dB [22].

Tab. 5 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru [22]

Druh chráněného prostoru	Korekce [dB]			
	1)	2)	3)	4)
<b>Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní</b>	-5	0	5	15
<b>Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní</b>	0	0	5	15
<b>Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor</b>	0	5	10	20

Pravidla pro použití korekce uvedené v Tab. 5 [22]:

1. Hodnoty se užijí, je-li zdrojem hluku stacionární zdroj hluku, veřejná hudební produkce, hluk z účelových komunikací a hluk pocházející z železničních stanic z provozu vlakových prací.
2. Hodnoty se užijí, je-li zdrojem hluku dopravní provoz na silnicích III.třídy, na místních komunikacích III.třídy a drážní dopravy.
3. Hodnoty se užijí, je-li zdrojem hluku dopravní provoz na dálnicích, silnicích I. a II.třídy, na místních komunikacích I. a II.třídy a na drahách v ochranném pásmu dráhy.

4. Tyto hodnoty se užijí v případě staré hlukové zátěže, jejímž zdrojem je doprava na pozemních komunikacích s výjimkou účelových komunikací a drážní dopravy uvedené v bodech 2) a 3). Hodnota korekce zůstává i v případě změny povrchu vozovky, provedené údržbě nebo rekonstrukci, při které nesmí dojít ke zhoršení současného stavu hlučnosti v chráněném venkovním prostoru staveb, chráněném venkovním prostoru a v úseku krátkodobých objízdných tras.

### **3.1.4 Základní měřicí technika – zvukoměr**

Zvukoměr je elektronické měřidlo, které umožňuje objektivní a reprodukovatelné měření hladiny akustického tlaku. Skládá se z mikrofonu, systému zpracování měřeného signálu a indikačního zařízení. Pomocí systému zpracování měřeného signálu jsou schopny stanovit průměrnou hodnotu akustického tlaku v definovaném časovém intervalu. V současnosti jsou používány přesné integrační zvukoměry vybaveny možností měření základních akustických veličin vestavěnými pásmovými filtry. Napojení a přenos dat na PC a dalšího zpracování dat pomocí pracovního softwaru je dnes již samozřejmostí. Zvukoměr je základním prvkem každého zvukoměrného zařízení.

#### Mikrofon

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který převádí dopadající zvuk na analogový signál. Nejčastěji jsou používány kondenzátorové mikrofony. Princip funkce kondenzátorového mikrofonu je založen na změně kapacity vzduchového kondenzátoru vyvolané změnou vzdáleností dvou elektrod tvořených tenkou kovovou membránou a naproti ní umístěnou stabilní destičkou v mikrofonní vložce. Změna napětí, vyvolaná poklesem nebo nárůstem akustického tlaku, je převedena na změny elektrického napětí mezi těmito dvěma elektrodami, při zajištění konstantní změny na kondenzátoru [32]. Mikrofony jsou citlivá zařízení, která jsou náchylná na vlhkost prostředí, ve kterém je měření prováděno. Vlivem relativní vlhkosti ovzduší může dojít k přeskocení výboje a následnému poškození membrány mikrofonu. Pro ochranu mikrofonu lze použít ochranné návleky, které ochrání mikrofon před povětrnostními vlivy. Z důvodu náchylnosti měřidla je vhodné volit období měření v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách



## Frekvenční váhové filtry

Váhové filtry upravují měřený signál. Mohou jej upravovat v celém kmitočtovém rozsahu, případně pásmové nebo selektivní propusti. Existují čtyři typy váhových filtrů – A,B,C a D.

- Filtr A – kmitočtová charakteristika měřeného signálu odpovídá převrácené křivce stejné hlasitosti v oblasti nízkých hladin akustického tlaku
- Filtr B – kmitočtová charakteristika měřeného signálu odpovídá převrácené křivce stejné hlasitosti v oblasti středních hladin akustického tlaku
- Filtr C – kmitočtová charakteristika měřeného signálu odpovídá převrácené křivce stejné hlasitosti v oblasti vysokých hladin akustického tlaku
- Filtr D – speciální filtr pro měření hluku z letecké dopravy

Moderní zvukoměry jsou vybaveny minimálně dvěma váhovými filtry, obvykle filtry A a C. Váhový filtr B se již v současnosti nepoužívá. Kromě režimu měření signálu přes váhový filtr jsou zvukoměry vybaveny režimem LIN, který umožňuje měření bez filtrů s použitím lineární kmitočtové charakteristiky [32].



*Obr. 10 Zvukoměry firmy Brüel & Kjær [18]*

## 3.2 Hluk z dopravy na pozemních komunikacích

Automobilová doprava na pozemních komunikacích je nedílnou součástí infrastruktury každého vyspělého státu. Její účinnost pak přímo závisí na kvalitě a rozsahu vybudované sítě pozemních komunikací, které mezi sebou propojují body na úrovni lokální až po těžce využívané dopravní uzly celostátního či celoevropského významu. Hluk z dopravy na pozemních komunikacích je pro většinu populace nejvýraznějším činitelem ze všech rušivých zvuků, které na ně během dne a noci působí. Vzhledem k problematice hlučnosti vznikající při provozu na pozemních komunikacích jsou největším zdrojem znečištění hlukem dálnice a silnice I. - III. třídy, kde dochází k největší koncentraci vozidel pohybujících se vysokou rychlostí. Dále pak místní komunikace, především pak ve středních a velkých městech, kde k hustému výskytu vozidel přibývají dále i prvky veřejné hromadné dopravy.

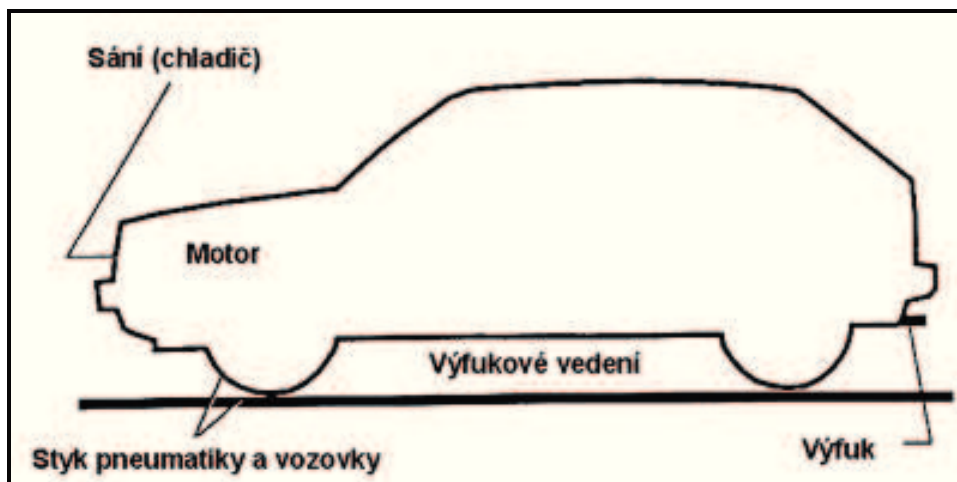
### 3.2.1 Zdroje hluku

Jedoucí vozidlo jako zvukový polutant má hned několik zdrojů hluku (*Obr. 11*):

- Hluk motoru
- Hluk sání
- Hluk výfuku
- Hluk převodového ústrojí
- Hluk z pohybu pneumatiky po povrchu vozovky
- Aerodynamický hluk

Zdroje hluku podle působení můžeme dále rozdělit na hluk vnitřní a vnější. Vnitřní hluk působí na posádku vozidla a ovlivňuje pohodlí jízdy a komunikační možnosti uvnitř automobilu. Hluk vnější pak působí na venkovní prostředí. Výrobci automobilů stále zdokonalují výrobu a podařilo se jim výrazně snížit hluk pocházející z mechanického ústrojí vozidla a díky stále progresivnějšímu designu i hluk aerodynamický. Rovněž výrobci pneumatik docílili vhodným uspořádáním drážek na běhounu pneumatiky (tzv. dezén) výrazně snížit hluk vznikající při kontaktu pneumatiky s vozovkou. Avšak pneumatika sama o

sobě není zdrojem hluku, který vzniká při kontaktu s vozovkou a její obrušnou vrstvou. Tento hluk je tak dále ovlivněn rychlostí pohybu vozidla, jeho hmotností a v neposlední řadě konstrukcí obrušné vrstvy vozovky.



Obr. 11 Zdroje hluku u vozidla v činnosti [31]

### 3.2.2 Hluk vznikající při styku pneumatiky s vozovkou

Hluk vznikající při kontaktu pneumatiky s vozovkou se dostává na dominantní pozici až při rychlostech nad 40 km/h. Tento kontaktní hluk vzniká vlivem několika činitelů. Kdy primární zdroje jsou nárazy dezénu – radiální kmitání, air-pumping efekt a tření mezi pneumatikou a povrchem. K sekundárním zdrojům pak řadíme mechanismus zesílení a Helmholtzovy rezonátory, tyto zdroje účelně zesilují působení primárních zdrojů [15].

#### Nárazy dezénu – radiální kmitání

Kontaktní povrch běžné pneumatiky je vybaven soustavou drážek a bloků tzv. dezén. Při rotaci pneumatiky po vozovce jednotlivé bloky dezénu narážejí na nerovnosti na povrchu vozovky. Tyto nárazy vyvolávají u pneumatiky radiální kmitání a stávají se tak zdrojem hluku o nízkých frekvencích 500 – 1000 Hz. Intenzita hluku je ovlivněna strukturou povrchu vozovky, kdy intezita stoupá současně s větší drsností vozovky.

### Air-pumping efekt

Vlivem valivého pohybu pneumatiky po vozovce dochází k deformacím a stlačování jednotlivých bloků dezénu. V drážkách mezi jednotlivými bloky dezénu dochází ke kompresi vzduchu, který je následně vlivem nárůstu tlaku explozivně uvolňován. Po dalším pootočení pneumatiky je na zadní straně kontaktní zóny vzduch opět nasáván. Tímto jevem vzniká zdroj vysokofrekvenčního hluku v rozsahu 1000 – 2000 Hz. Intenzita hluku je závislá na textuře povrchu a její schopnosti utěsnit prostor mezi bloky dezénu a rychlosti pohybu vozidla.

### Tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky

K tření dochází vlivem snahy pneumatiky přizpůsobit se povrchu vozovky. Poloměr zakřivení povrchu pneumatiky je nutné vyrovnat a povrchová část pneumatiky se snaží přizpůsobit se makrotextuře vozovky [15]. Dochází tak k hysterznímu tření. Dále dochází vlivem zrychlování a brždění automobilu k přenosu tahových sil z kontaktní plochy pneumatiky na povrch vozovky a vzniká tak smykové tření. Charakteristickým zvukovým projevem tření je pískot pneumatik, nejčastěji vznikající při rychlém průjezdu po oblouku pozemní komunikace.

### Zesilující mechanismy

Primární zdroje hluku jsou často podporovány zesilovacími mechanismy, které navyšují jejich intenzitu. Jedná se především o trubkovitý-trychtýřovitý efekt, který je totožný s vznikem zvuku při hře na trubku. Druhým zesilujícím mechanismem jsou Helmholtzovy rezonátory, které souvisí s bočními drážkami dezénu pneumatik. Tyto drážky díky svému tvaru nabývají schopností akustických systémů, které navyšují vyzařování zvuku obdobně jako při pískotu přes hrdlo lahve [15].

### 3.2.3 Metody měření hluku z pozemních komunikací

Měření hluku na pozemních komunikacích se v současnosti provádí pouze na již stávajících vozovkách. Z tohoto důvodu je složité získávat údaje pro výzkum nových povrchových úprav vozovek, jelikož jejich zkušební aplikace v reálných podmínkách je ekonomicky náročná. Technologie a postupy pro laboratorní měření nebyly doposud, až na ojedinělé výjimky, vůbec stanoveny.

#### Coast-By method – CB

Metoda je založena na principu měření hluku na dálku. Na krajnici vozovky je nainstalováno zvukoměrné zařízení, které snímá hluk vyvolaný projíždějícím testovacím vozidlem. Testovací vozidlo je opatřeno testovacími pneumatikami a projíždí kolem zvukoměrného zařízení s vypnutým motorem nebo s předem stanoveným zařazeným rychlostním stupněm. Měření probíhá při rychlostech 80 km/h pro osobní automobily a 70 km/h pro automobily nákladní. Při měření jsou kromě hluku způsobeného pojezdem pneumatiky po vozovce zaznamenávány také hluk aerodynamický a hluk z mechanického ústrojí automobilu. Coast - by metoda podává informace pro studie hlučnosti testovaných pneumatik a informace o hlučnosti z provozu vozovky [15].

#### Statistical Pass-By method – SPB

Tato metoda je standardizovaná v ČSN ISO 11819-1 Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk - Část 1: Statistická metoda při průjezdu. Měření hluku probíhá opět na dálku, kdy měřicí zařízení je ustaveno na kraji vozovky. Hodnoty jsou zaznamenávány v běžném provozu na pozemních komunikacích v úsecích s předepsanou maximální povolenou rychlostí. Kromě měření hluku se provádí i záznam počtu a typu projíždějících vozidel. Při průjezdu více než 100 osobních a 80 nákladních vozidel a následné regrese se počítá normalizovaná hladina hluku pro 50, 80 a 110 km/h (osobní vozidla), 50, 70 a 85 km/h pro těžká nákladní vozidla. Výsledkem metody je index SPBI ( Statistical Pass-By Index). Metoda je využívána pro typové testování a obecné studie povrchů vozovek. Výsledky měření podávají poměrně přesné informace o hlučnosti provozu na pozemních

komunikacích a zohledňují vliv všech typů vozidel. Nevýhodou metody je její bodovost, kdy je nutné dobře volit měřící stanoviště.

#### Control Pass-By method – CPB

Metoda je obdobou SPB metody, kdy měření probíhá izolovaně od běžného provozu na pozemních komunikacích. Pro účely měření jsou použity dvě testovací vozidla – osobní automobil a nákladní automobil. Testovací vozidla projíždějí kolem zvukoměrného zařízení a zaznamenává se maximální hladina akustického tlaku a průměrná hodnota konkrétní rychlosti.

#### Close-Proximity method – CPX

Metoda měření hluku v těsné blízkosti kontaktu pneumatiky s vozovkou. Zaznamenává se primárně hluk vznikající při tomto procesu. Samotné měření probíhá ve speciálně upraveném přívěsu, který je tažen za automobilem. Na přívěsu je osazena testovací pneumatika, kolem které jsou umístěny minimálně dva mikrofony. Měření probíhá při referenčních rychlostech 50,80 a 110 km/h. Zvukoměrné zařízení zaznamenává průměrnou hladinu akustického tlaku po dvacetimetrových úsecích. Výsledkem měření je index CPXI (Close Proximity Index) [1]. CPX je jednoduchá a rychlá metoda, kterou lze aplikovat v běžném provozu a můžeme tak získat data z různých dlouhých úseků pozemních komunikací. Metoda je využívána pro studie hlučnosti povrchu vozovek a ověřování vlastností provedených úseků pozemních komunikací. Nevýhodou metody je nemožnost zohlednit hmotnost vozidla, která při vzniku hluku hraje významnou roli.

#### On Board Sound Intensity method – OBSI

Metoda je obdobou CPX metody, kdy není využíváno speciálního přívěsu. Přímo na karoserii testovacího vozidla se osadí konzole, které umožní uchycení a ustavení měřícího zařízení do těsné blízkosti kontaktu pneumatiky s vozovkou. Měřícím zařízením je v tomto případě sonda akustické intenzity, která není citlivá na okolní hluk [3].

### Experimentální laboratorní měření – Tire/Pavement Test Apparatus – TPTA

Ojedinělým zařízením je vybaven výzkumný ústav SQHD (Ústav pro výzkum bezpečných, tichých a odolných vozovek) na Purdue University v Indianě, ve Spojených státech amerických. Zařízení Tire/Pavement Test Apparatus – TPTA je umístěno ve speciální odhlučněné místnosti a dokáže zaznamenávat izolovaný hluk vznikající při pojezdu pneumatiky po povrchu vozovky. Přístroj TPTA je tvořen válcem o průměru 3,66 m, který je složen z 6 segmentů o tloušťce 203 nebo 406 mm. Tyto segmenty jsou opatřeny povrchovými úpravami simulující skutečné stavební materiály. Okolo bubnu se pohybuje rameno opatřené testovací pneumatikou dosahující rychlosti až 48 km/h. Záznamové zařízení může být umístěno buď na jednotlivých segmentech, nebo se pohybovat společně s testovací pneumatikou na oběžném rameni [28].



*Obr. 12 Tire/Pavement Test Apparatus – TPTA [3]*

### **3.3 Protihluková opatření**

Působení hluku na člověka a jeho životní prostředí můžeme ovlivnit pasivním nebo aktivním způsobem. Mezi pasivní způsoby řadíme veškeré opatření na obydlích a sídlech člověka. Jedná se především o provádění tepelné a zvukové izolace fasády, výměna stávajících výplní stavebních otvorů za modernější a těsnější, budováním protihlukových valů a clon a další obdobná opatření. Pasivním opatřením není řešen samotný zdroj hluku, ale jeho působení na člověka.

Aktivní protihluková opatření se již snaží ovlivnit samotný zdroj hluku. Mezi tato opatření můžeme zařadit zvětšení vzdáleností mezi chráněným objektem a pozemní komunikací, omezení intenzity provozu v nejvíce postižených lokalitách, omezení průjezdu těžké nákladní dopravy, technickým opatřením samotných dopravních prostředků a v neposlední řadě speciálními úpravami povrchu vozovky vedoucích ke snížení hlučnosti.

#### **3.3.1 Povrchové úpravy cementobetonového krytu vozovek vedoucí ke snížení hlučnosti**

V současnosti existuje několik metod speciálních úprav CB krytu vedoucích ke snížení hlučnosti projíždějícího automobilu až o 4 – 8 dB. Provádění těchto úprav se různí. Úprava povrchu může být provedena těsně za projíždějícím finišerem na povrchu čerstvého betonu nebo je provedena dodatečně až po vytvrdnutí CB krytu, tedy v době kdy bude možno na betonovou desku vjet s prováděcí technikou. Úpravy povrchu aplikované do čerstvého povrchu CB krytu jsou prováděny tažením média, které zanechává na povrchu vozovky stopu a vytváří tak texturu povrchu. Dodatečné úpravy povrchu jsou prováděny mechanicky strojním zařízením. Výjimku tvoří technologie vymývaného betonu, která je založena na principu zpomalení tuhnutí cementového tmele do předem stanovené hloubky.



### Podélná striáž

V České republice se provádí povrchová úprava pouze tažením jutovou tkaninou v podélném směru těsně za finišerem betonujícím kryt vozovky. Tato metoda povrchové úpravy je technicky nenáročná a nevyžaduje zásah do receptury betonové směsi. Juta vytváří jemnou texturu, která příznivě přispívá ke snížení hlučnosti a zlepšení protismykových vlastností vozovky. Jutu je možné nahradit jiným médiem, které svým charakterem předá povrchu CB krytu specifickou texturu. Pro tyto účely byly v rámci evropského programu SILVIA použity hřebeny s ocelovými hroty a rohože z umělého trávniku. Existují experimenty také s prováděním striáže v příčném směru, ale účinnost nebyla uspokojující.

### Vymývaný beton – exposed concrete

V západních evropských zemích, především pak v Německu a Rakousku se provádí speciální povrchová úprava vymýváním cementového tmele z povrchu betonového krytu, až dojde k obnažení kameniva. Tato procedura lze provádět pomocí deaktivátoru povrchové vrstvy. Hloubka vymývané vrstvy je 1 – 2 mm což se rovná 1/3 – 1/4 nejmenšího zrna největší použité frakce. Tato metoda úpravy si vynucuje složitější technologický postup a zásah do receptury betonu. Betonový kryt je betonován ve dvou vrstvách, kdy podkladní beton o tloušťce 170 – 250 mm je tvořen běžným silničním betonem s kamenivem frakce 0-22 nebo 0-32. Na tuto podkladní vrstvu je dále vybetonována vrstva o tloušťce 50 mm ze speciálního betonu s drceným kamenivem frakce 0-8. Na povrchovou vrstvu je následně nanесena směs ošetrovací přísady a přísady ovlivňující tuhnutí povrchu. Po dosažení optimální doby vhodné pro odstranění přebytečného cementového tmele je povrch strojně okartáčován a tím dosaženo obnažení kameniva. Kvalitní provedení betonového krytu vozovky z vymývaného betonu je pro svou technologickou náročnost závislé na disciplíně dodržení technologického postupu [24].

### Dodatečné broušení – Grinding

Dalším způsobem speciální úpravy povrchu je podélné dodatečné broušení - grinding. Provádí se po dokončení betonáže vozovky, ve fázi kdy již betonový kryt dosáhl požadovaných pevností pro provoz komunikace. Broušení je prováděno frézováním povrchu pojízdnou frézovací soupravou. Metoda není zatížena zásahem do receptury betonové směsi a je použitelná pro běžné silniční betony s kamenivem frakce 0 – 22 a 0 – 32. Broušení vozovky se dále používá při obnově protismykových vlastností starého CB krytu a lokálních opravách na vozovce.

### Porézni beton – EPC ( Enhanced Porosity Concrete )

Póreznost betonu je dosažena třízením kameniva s minimálním objemem drobné frakce. V masě betonové hmoty tak vznikne síť propojených pórů, která příznivě napomáhá pohlcovat nežádoucí hluk. Efektivní schopnost pohlcovat zvuk je dosažena u EPC s 15 – 25% prostupnou pórezností. Finální vlastnosti pórezního betonu jsou podmíněny vlastnostmi použitého kameniva, jehož granulometrické složení je z 96,5 % tvořeno frakcí 4-8 a zbylých 3,5 % zastoupeno frakcí 0-1. Konstrukce krytu je opět dvouvrstvá, kdy podkladní vrstvu tvoří běžný silniční beton o tloušťce  $\geq 120$  mm a druhou vrstvu tvoří EPC o tloušťce 80 mm. Disciplína dodržení technologického postupu provádění je předpokládanou samozřejmostí.

Doprovodnou vlastností EPC je schopnost rychlého odvodu povrchové vody, která je zvláště efektivní v případech výskytu přívalových dešťů. Rychlým odvodem povrchové vody pak přispívá k větší bezpečnosti pohybu vozidel po komunikaci a omezení možnosti vzniku ztráty přilnavosti pneumatiky k povrchu vozovky vlivem vody – tzv. aquaplaning. Použití této technologie není možné ve všech klimatických podmínkách, tento fakt EPC velmi znevýhodňuje.



*Obr. 13* Úprava povrchu tažením jutou



*Obr. 14* Vymývaný beton



*Obr. 15* Broušení – Grinding



*Obr. 16* Porézní beton

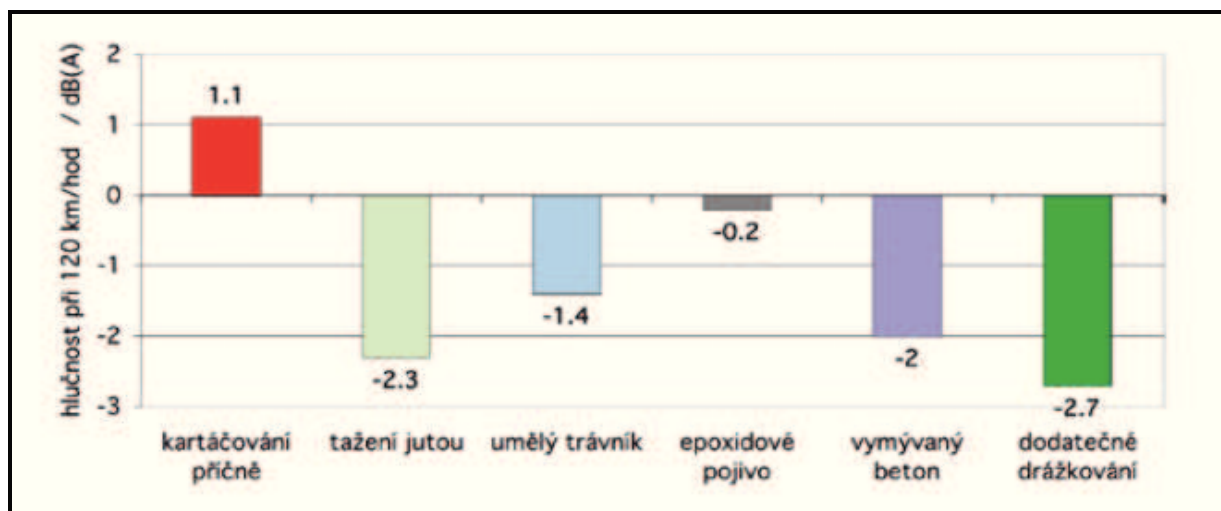
### 3.3.2 Srovnání jednotlivých povrchových úprav cementobetonového krytu vozovek

Současný stav hlučnosti na pozemních komunikacích v České republice je znázorněn v Tab. 6. Pro srovnání jsou zde uvedeny i hodnoty povrchů z asfaltového betonu a asfaltového mastixového koberce. Pro měření uvedených hodnot bylo použito metody Close-Proximity method – CPX.

Tab. 6 Aktuální stav hlučnosti vozovek v České republice [21]

Povrchová úprava	hladina hluk v dB při rychlosti		
	60km/hod	90 km/hod	120 km/hod
CB kryt s kluznými trny a kotvami - úprava taženou jutou	89,3	95,9	100,5
starý CB kryt bez kluzných trnů a kotev - úprava taženou jutou	90,1	96,5	100,8
starý CB kryt bez kluzných trnů a kotev - hluboká striáž kartáčem	95,8	100,4	106
asfaltový beton	91,8	97,6	101,2
asfaltový mastixový koberec	91,6	97,1	100

Jednotlivé povrchové úpravy povrchu CB krytu dokáží ovlivnit hlučnost z provozu na pozemních komunikacích různou měrou účinnosti. Na Obr. 17 jsou znázorněny hodnoty účinnosti povrchových úprav zjištěných v rámci evropského programu SILVIA.



Obr. 17 Možnosti snižování hlučnosti použitím speciální úpravy dle projektu SILVIA [24]

## **4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - Hodnocení speciálních povrchových úprav CB krytu vozovek vedoucích ke snížení hlučnosti**

### **4.1 Vybrané speciální úpravy CB krytu**

V rámci experimentální části této diplomové práce proběhlo hodnocení vybraných povrchových úprav CB krytu vozovek především z hlediska odolnosti vůči působení vody a chemických rozmrazovacích látek, pevnostních charakteristik a studie topografie povrchu materiálu. Výběr povrchů byl proveden tak, aby dle naměřených výsledků mohly být mezi sebou porovnány povrchové úpravy skutečně prováděné v současné stavební praxi a povrchové úpravy experimentálně prováděné na zkušebních úsecích především mimo území České republiky.

Vybrané hodnocené povrchové úpravy:

- P1 - povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík NOVAPOR HV
- P2 - povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík DENSOCURE R
- P3 - povrchová úprava taženou rohoží
- P4 - povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem
- VYM - povrchová úprava technologií vymývaného betonu

Povrchová úprava P1 (P2) je běžně využívanou technologií při stavbě CB krytů na území České republiky. Povrchová úprava VYM je technologií ve velké míře využívanou při stavbě dálniční a silniční sítě především v Rakousku, Německu a dalších západoevropských zemích. Povrchové úpravy P3 a P4 byly experimentálně zkoušeny v rámci evropského projektu SILVIA [24].

## 4.2 Výroba zkušebních vzorků

### 4.2.1 Receptura čerstvého betonu

Pro výrobu zkušebních vzorků byly převzaty receptury používané v reálné stavební praxi.

#### Receptura čerstvého betonu pro P1- P4 – směs SILBET

Cement CEM 42,5			370 kg.m <sup>-3</sup>
Kamenivo	0-4	Tovačov	544 kg.m <sup>-3</sup>
	4-8	Tovačov	109 kg.m <sup>-3</sup>
	8-16	Hrabůvka	580 kg.m <sup>-3</sup>
	16-32	Hrabůvka	580 kg.m <sup>-3</sup>
Voda			156 kg.m <sup>-3</sup>
Plastifikační přísada		BV18	0,75 kg.m <sup>-3</sup>
Provzdušňovací přísada		M103S	0,40 kg.m <sup>-3</sup>

#### Receptura čerstvého betonu pro VYM - směs VYMBET

Cement CEM 42,5			425 kg.m <sup>-3</sup>
Kamenivo	0-4	Tovačov	700 kg.m <sup>-3</sup>
	4-8	Čedič	995 kg.m <sup>-3</sup>
Voda			180 kg. m <sup>-3</sup>
Plastifikační přísada		BV18	0,6% kg.m <sup>-3</sup>
Provzdušňovací přísada		M103S	0,6% kg.m <sup>-3</sup>

#### 4.2.2 Výroba zkušebních těles

Z důvodu přesnější aplikace povrchové úpravy CB krytu bylo nutno vyrobit specifická zkušební tělesa. Zkušební těleso představoval panel o rozměrech 800 x 500 x 110mm.. Pro účely diplomové práce byly vyhotoveny 4 rozložitelné bednicí formy.

Jednotlivé složky receptury byly přesně naváženy a poté míchány v laboratorní bubnové míchačce. Navážené složky se do míchačky dávkovaly v následujícím pořadí:

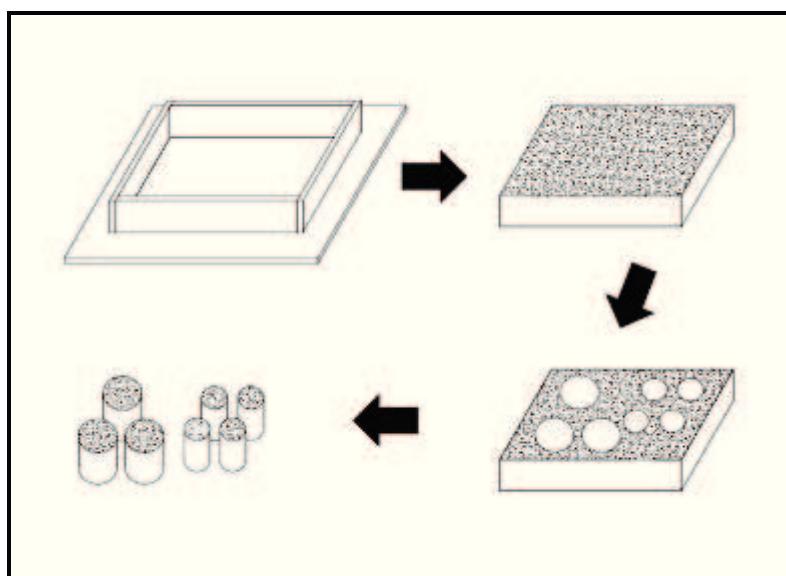
- Kamenivo + malé množství vody – doba míchání - 10 s
- Cement - 10 s
- Voda - 20 s
- Provzdušňovací přísada - 120 s
- Plastifikační přísada

Následné míchání složek trvalo 60 sekund. Po dokončení míchacího procesu se provedly zkoušky konzistence a obsahu vzduchu v čerstvém betonu. Z důvodu malé kapacity laboratorní míchačky probíhalo plnění forem v několika vrstvách. Každá záměs byla vždy namíchána podle totožné receptury a byly použity identické materiálové složky. Hutnění čerstvého betonu probíhalo pomocí ponorného vibrátoru. Povrch zkušební vzorku byl následně uhlazen kovovým hladítkem do obdobné podoby, která vzniká při reálné betonáži po úpravě vibrační lištou finišeru. Na takto vyhlazený povrch byly aplikovány způsoby úpravy povrchu P1 - P4, v případě vymývaného betonu byl nanesen deaktivátor povrchu RHEOFACE 460. Koncovou úpravou zkušebních vzorků pro povrchy P1 – P4 bylo nanesení prostředku pro ošetření povrchu čerstvého betonu proti předčasnému vysychání betonu. Vzorek pro povrch z vymývaného betonu podstoupil po 24 hodinách vymytí povrchu pomocí tlakové vody. Rovněž proběhlo nanesení prostředku pro ošetření povrchu čerstvého betonu proti předčasnému vysychání. Všechny vzorky následně zrály v konstantním laboratorním prostředí po dobu 28 dní.

Současně s plněním forem pro výrobu panelů se z každé záměsi odebralo kontrolní množství pro výrobu zkušebních krychlí o rozměrech 150 x 150 x 150 mm. Celkem 8 krychlí pro směs SILBET a 3 rychle pro směs VYMBET. Tyto krychle zrály po dobu 28 dní ve vodní lázni.



Po uplynutí 28 dní se z každého zkušebního panelu odebraly pomocí jádrové vrtačky dvě sady jádrových vývrtů pro účely dalšího ověřování vlastností betonu. První sadu zkušebních vzorků tvořily 4 jádrové vývrty o průměru 100 mm. Z této sady se vyčlenily tři vzorky pro zkoušku pevnosti v tlaku na vývrtech odebraných z konstrukce a jeden vzorek pro topografickou analýzu. Tento vzorek byl vybrán s ohledem na kvalitu povrchové textury, kdy povrchová úprava měla být co nejkvalitnější. Druhou sadu vzorků tvořily jádrové vývrty o průměru 150 mm určené pro zkoušku stanovení odolnosti povrchu cementobetonového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.



*Obr. 18 Schéma výroby zkušebních vzorků*



*Obr. 19 Hutnění ponorným vibrátorem*



*Obr. 20 Vrtání jádrového vývrtu*



## 4.3 Zkoušení čerstvého betonu pro CB kryty vozovek

### 4.3.1 Stanovení konzistence čerstvého betonu

Stanovení konzistence čerstvého betonu bylo provedeno dle ČSN EN 12350-2

Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím – Slumptest [5].

#### Pomůcky a zařízení

- Propichovací tyč
- Násypka
- Podkladní deska
- Lopatka
- Metr
- Normovaná nádoba tvaru kužele o rozměrech: průměr dolní základny 200 mm, průměr horní základny 100 mm, výška 300 mm, tloušťka stěny nádoby 1,5 mm

#### Postup zkoušky

Normovaná nádoba se navlhčí a položí na navlhčenou podkladní desku. Nádoba se postupně zaplní zkoušeným čerstvým betonem. Plnění probíhá vždy po 1/3 výšky nádoby a každá vrstva je zhutněna 25 vpichy propichovací tyčí. Po zhutnění poslední třetí vrstvy je forma sejmuta směrem vzhůru a umístěna vedle zformovaného kužele z čerstvého betonu. Zaměří se sednutí betonového kužele – vzdálenost mezi korunou formy a horní plochou betonového kužele. Podle naměřené hodnoty se beton zařídí do skupiny S1-S5.

#### Výsledek provedené zkoušky

Stanovení konzistence čerstvého betonu bylo provedeno pro receptury SILBET a VYMBET. Obě dvě směsi byly zatříděny do skupiny S1 – směs tuhá a splnily tak kritérium pro zpracování finišerem s posuvnými bočnicemi. Hodnoty sednutí kužele jsou uvedeny v *Tab. 7*.

#### **4.3.2 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu**

Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu bylo provedeno dle ČSN EN 12350-7  
Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody [7].

##### Pomůcky a zařízení

- Tlaková nádoba
- Vibrační stolec
- Lopatka
- Stříčka s vodou

##### Postup zkoušky

Nádoba se naplní čerstvým beton. Pomocí vibračního stolce se beton zhutní a doplní až po okraj nádoby. Okraj nádoby se otře a usadí se víko. Uzavření tlakové nádoby musí být vzduchotěsné. Pomocí stříčky se vodu vytlačí skrz ventily víka přebytečný vzduch. Ventily se uzavřou a nádoba se ručně natlakuje. Následně se tlak uvolní skrz vypouštěcí ventil a na záznamovém zařízení, které je součástí tlakové nádoby, se odečte výsledná hodnota

##### Výsledky provedené zkoušky

Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu bylo provedeno pro receptury SILBET a VYMBET. Směs SILBET vykazovala hodnotu obsahu vzduchu 5,1% a směs VYMBET vykazovala hodnotu obsahu vzduchu 4,2%.

### 4.3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno dle ČSN EN 12350-6

Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost [6].

#### Pomůcky a zařízení

- Laboratorní váhy
- Nádobu o známém objemu
- Hladítko
- Vibrační stůl
- Lopatka

#### Postup zkoušky

Na laboratorních vahách se zváží prázdná nádoba o známém objemu  $V$ . Získá se tak hmotnost  $m_1$ . Následně se nádoba plní a vibruje, až je zcela zaplněna čerstvým betonem. Zvážení plné nádoby se získá hmotnost  $m_2$ .

Objemovou hmotnost  $\rho$  [ $\text{kg.m}^{-3}$ ] vypočteme z vztahu:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Kde:

$V$  – objem nádoby [ $\text{m}^3$ ]

$m_1$  – hmotnost prázdné nádoby [kg]

$m_2$  – hmotnost plné nádoby [kg]

#### Výsledky provedené zkoušky

Výsledná objemová hmotnost směsi SILBET byla stanovena na  $2340 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Výsledná objemová hmotnost směsi VYMBET byla stanovena na  $2400 \text{ kg.m}^{-3}$ .

#### 4.3.4 Vyhodnocení zkoušek čerstvého betonu

Formy pro výrobu zkušebních panelů, byly z důvodu malé kapacity laboratorní míchačky, plněny ve dvou vrstvách. Z tohoto důvodu, bylo nutno namíchat dvě záměsi pro naplnění jedné formy. Zkoušky čerstvého betonu byly provedeny pro každou záměs a z výsledků byl vypočten aritmetický průměr. Přehled výsledných hodnot je znázorněn v *Tab. 7*.

*Tab. 7* Výsledky zkoušek prováděných na čerstvém betonu

Druh betonu	Sednutí kužele	stupeň S	Objem vzduchu	Objemová hmotnost
	[mm]		[%]	[kg.m <sup>-3</sup> ]
SILBET	30	S1 - směs tuhá	5,1	2340
VYMBET	40	S1 - směs tuhá	4,2	2400

## **4.4 Zkoušení ztvrdlého betonu pro CB kryty vozovek**

### **4.4.1 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek**

Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek bylo stanoveno metodou “C” dle ČSN 73 1326 + Změna Z1 [12].

#### Princip metody:

Metoda je založena na principu cyklického střídání kladných a záporných teplot. Pro průkazní a kontrolní zkoušky na tělesech vyrobených z čerstvého cementového betonu se použijí minimálně 3 vzorky. Ze zkušebního panelu byly pro zkoušku k dispozici 3 válce o průměru 150 mm odebrané jádrovým vývrtem.

#### Pomůcky a zařízení:

- Okružní pila s diamantovým kotoučem
- Klimatizační skříň s automaticky měnitelnou teplotou prostředí a jejího udržování na požadované hodnotě s přesností 1 °C
- Misky z korozivzdorného materiálu
- Laboratorní váhy s přesností vážení 0,1g
- Laboratorní sušárna
- Roztok chemické rozmrazovací látky - 3% roztok chloridu sodného NaCl

#### Postup zkoušky:

Zkušební těleso se opatří vodotěsnou objímkou, pro jejíž výrobu je vhodné použít vyříznutý pruh z automobilové nebo cyklistické vzdušnice pneumatiky. Horní část zkušebního tělesa, která bude osazena objímkou, se opatří nejméně dvěma nátěry kaučukovým lepidlem. Jedna vrstva kaučukového lepidla se nanese také na gumovou objímku. Po provedení posledního nátěru lepidla na zkušební těleso se na něj ihned navlékne gumová objímka se zaschlým lepidlem tak, aby převyšovala povrch vzorku přibližně o 10 mm. Pro docílení těsnosti se přes

gumovou objímku dále převleče montážní páska a pevně se dotáhne. Umístění pásky by mělo být co nejblíže horního okraje vzorku. Na zkušební těleso se nalije voda, která se na něm ponechá, nejméně dva dny před započítáním samotné zkoušky odolnosti. Tato doba slouží, zároveň k prověření vodotěsnosti objímky.

V případě že nebyl zjištěn žádný průsak objímkou, přejdeme k vlastní zkoušce. S povrchu zkušební vzorku se slije voda a její zbytky se odstraní stlačeným vzduchem. Zkušební těleso se vloží do klimatizační komory a nalije se na něj 3% roztok NaCl v tloušťce vrstvy přibližně 5 mm. Teplota cirkulujícího vzduchu se pak mění cyklicky:

- 3 hodiny ( $-18 \pm 1$ )°C
- 3 hodiny ( $+5 \pm 1$ )°C

z čehož vyplývá délka jednoho cyklu 6 hodin. Po několika cyklech je třeba zjistit hmatem, zda nedochází k většímu porušování povrchu zkušební tělesa (odpad betonu přibližně 500 g/m<sup>2</sup>). Při kladném zjištění, nejdéle však po 7 dnech nepřetržitého cyklování (tj. po 28 cyklech) se musí zkušební těleso vyjmout z klimatizační skříně. Slaný roztok se opatrně slije a uvolněné částice se splaví do mísy větší než je těleso použitím stříčky. Omytý povrch se okartáčuje tvrdším kartáčem a opět se splaví do odpařovací misky předem zvážené a označené. Přebytková voda se opět slije a misky se umístí do sušárny, které se udržuje při teplotě  $105 \pm 5$ °C. Na omyté zkušební těleso, uložené v normálních laboratorních podmínkách při teplotě vzduchu  $20 \pm 2$ °C, se nalije voda až po okraj objímky a po 24 hodinách se postup opakuje.

Po vysušení uvolněných částic betonu do stálé hmotnosti se stanoví jejich hmotnost s přesností na 0,1g a přepočtem plochy povrchu zkušební tělesa se stanoví odpad betonu v g/m<sup>2</sup>. Protože se uvolněné částice betonu splavují do stále stejné odpařovací misky, jedná se o součtovou hodnotu odpadu po příslušném počtu cyklů.

Zkouška odolnosti povrchu betonu proti působení vody, mrazu a roztoku NaCl se ukončí nejdříve:

- a) po dosažení požadovaného počtu cyklů
- b) po dosažení maximálního přípustného odpadu betonu
- c) při porušení betonu trhlinami, takže beton přestane být vodotěsný
- d) po 150 cyklech v případě vyšetřování příčin nízké odolnosti betonu a při posuzování způsobu sanace málo odolného povrchu betonu, nenastane-li dříve stav c

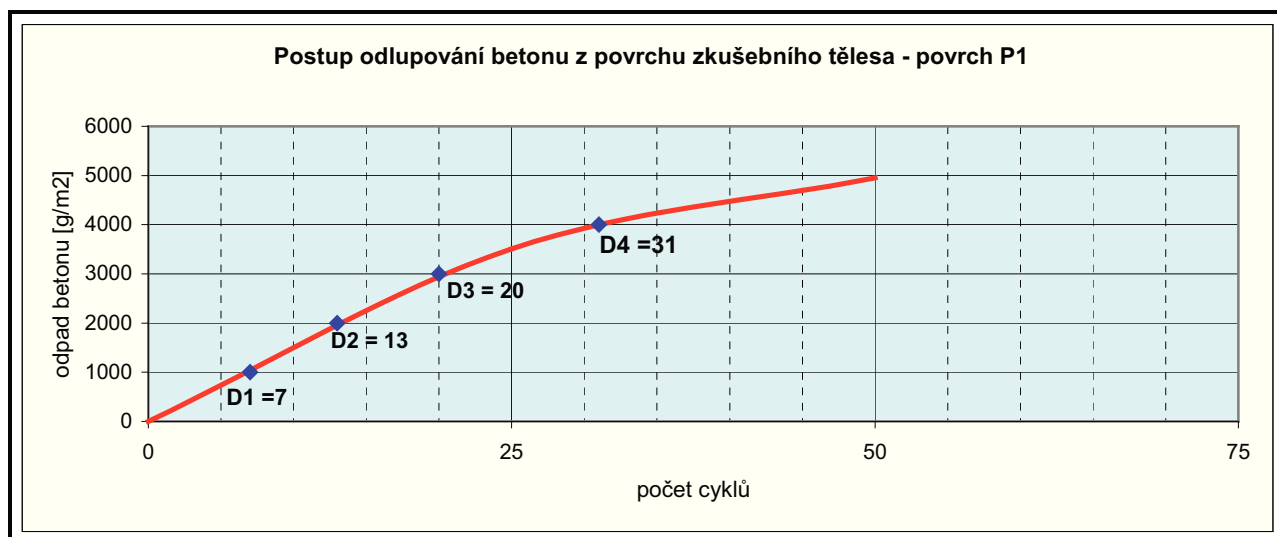
#### Vyhodnocení zkoušky

Odolnost povrchu betonu proti působení vody a roztoku NaCl se hodnotí pomocí součinitelů odolnosti D1 až D5, přičemž:

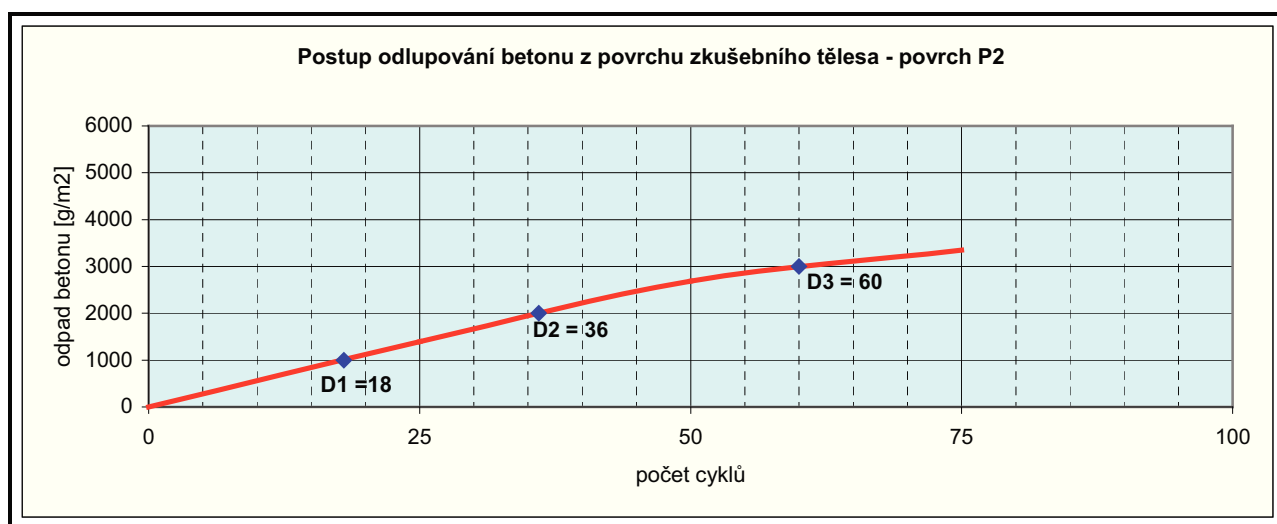
- D1 = počet cyklů, po kterých je odpad betonu  $1000 \text{ g/m}^2$
- D2 = počet cyklů, po kterých je odpad betonu  $2000 \text{ g/m}^2$
- D3 = počet cyklů, po kterých je odpad betonu  $3000 \text{ g/m}^2$
- D4 = počet cyklů, po kterých je odpad betonu  $4000 \text{ g/m}^2$
- D5 = počet cyklů, po kterých je odpad betonu  $5000 \text{ g/m}^2$

Součinitel D1 až D5 se získají z grafu stanovením průsečíku čáry odpadů betonu s příslušnou souřadnicí odpadu betonu. Jako kritériem odolnosti povrchu betonu proti působení vody a roztoku NaCl pro CB kryty se uvádí součinitel odolnosti D1.

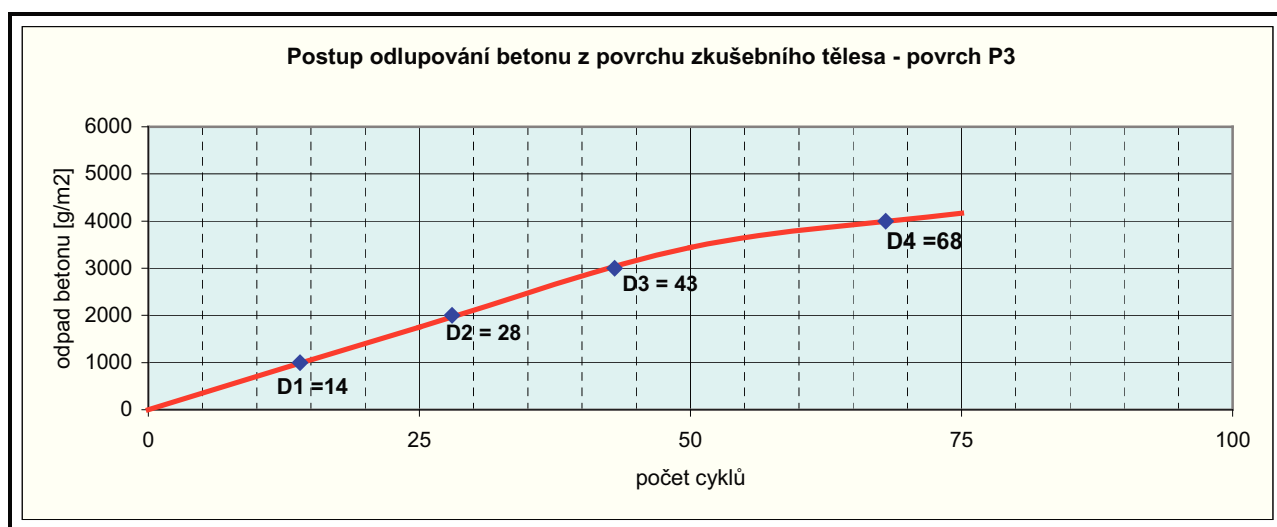
Z hodnot naměřených při zkoušce byly pro každou povrchovou úpravu sestrojeny křivky průběhu degradace povrchu. Tyto křivky jsou znázorněny na *Grafech 1-5*. V *Tab. 8* je znázorněn přehled odlupování betonu z povrchu jednotlivých zkušebních těles v průběhu 75 zmrazovacích cyklů.



*Graf č. 1*

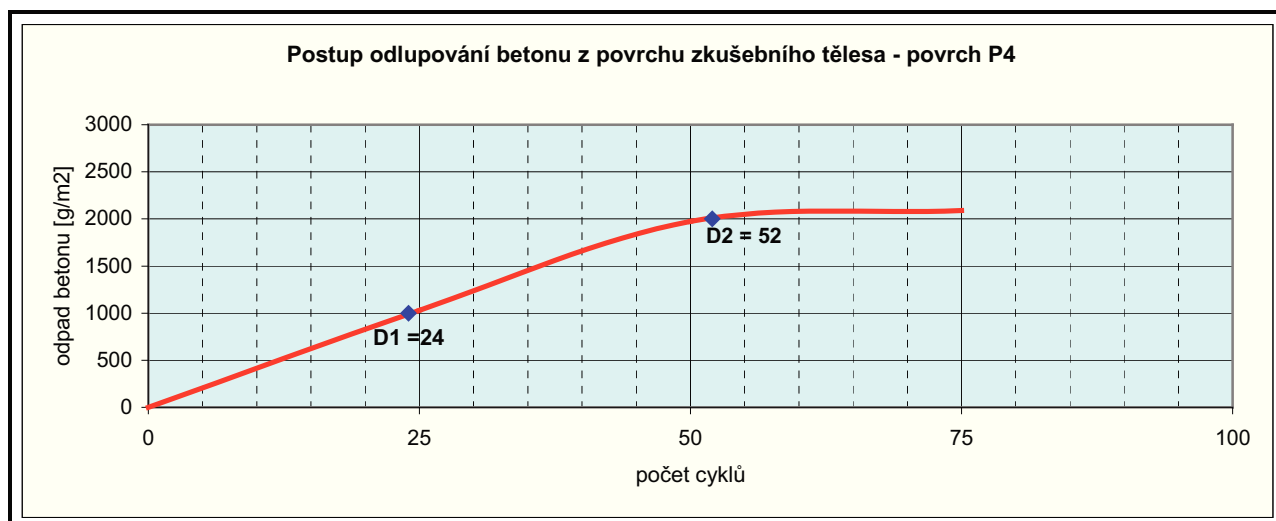


*Graf č. 2*

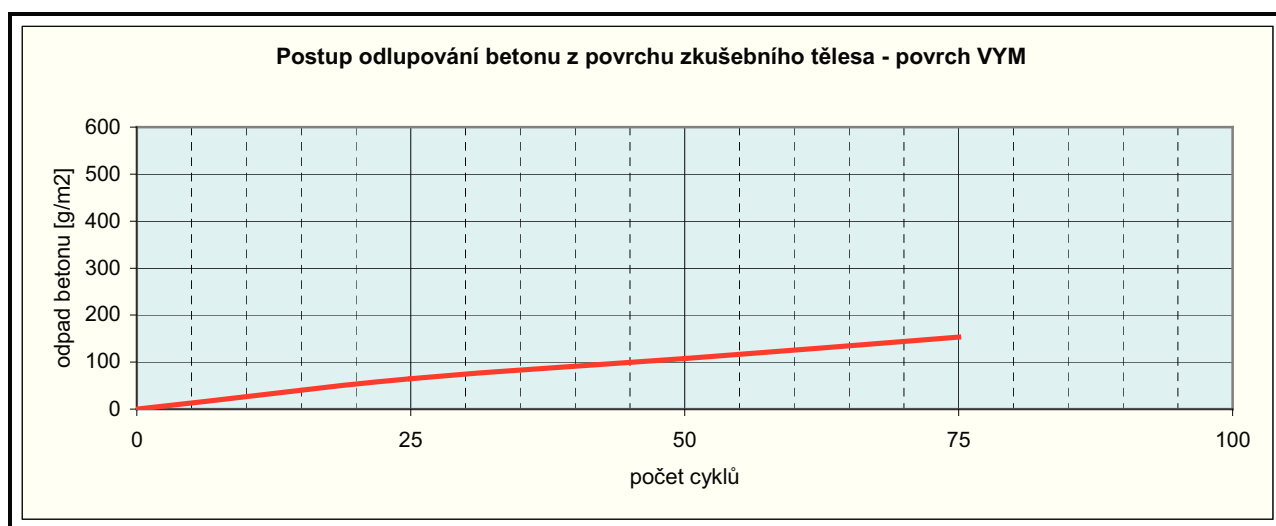


*Graf č. 3*





*Graf č. 4*



*Graf č. 5*

Tab. 8 Přehled odlupování betonu s povrchu jednotlivých zkušebních těles v průběhu 75 zmrazovacích cyklů

Označení vzorku	Výsušky po 25 cyklech	Odpad betonu po 25 cyklech	Průměr	Výsušky po 50 cyklech	Odpad betonu po 50 cyklech	Průměr	Výsušky po 75 cyklech	Odpad betonu po 75 cyklech	Průměr
	[g]	[g/m <sup>2</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]	[g]	[g/m <sup>2</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]	[g]	[g/m <sup>2</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]
VYM-1	1,6	90,9	<b>64,4</b>	2,0	113,6	<b>107,9</b>	2,2	125,0	<b>153,4</b>
VYM-2	0,7	39,8		1,7	96,6		3,8	215,9	
VYM-3	1,1	62,5		2,0	113,6		2,1	119,3	
P1-A	66,4	3772,2	<b>3509,0</b>	77,9	4425,5	<b>4950,0</b>	/	/	/
P1-B	42,0	2386,0		71,1	4039,2		/	/	
P1-C	76,9	4368,7		112,4	6385,4		/	/	
P2-A	31,8	1806,6	<b>1395,6</b>	54,3	3084,8	<b>2687,1</b>	62,0	3522,2	<b>3348,0</b>
P2-B	10,7	607,9		38,1	2164,5		52,1	2959,8	
P2-C	31,2	1772,5		49,5	2812,1		62,7	3562,0	
P3-A	41,1	2334,9	<b>1753,5</b>	70,0	3976,7	<b>3440,8</b>	78,4	4453,9	<b>4166,1</b>
P3-B	9,0	511,3		40,3	2289,4		52,9	3005,2	
P3-C	42,5	2414,4		71,4	4056,2		88,7	5039,0	
P4-A	13,9	789,7	<b>1028,3</b>	35,5	2016,8	<b>1975,1</b>	38,7	2198,5	<b>2088,7</b>
P4-B	38,7	2198,5		52,8	2999,6		53,4	3033,7	
P4-C	1,7	96,6		16,0	909,0		18,2	1033,9	

#### 4.4.2 Vyhodnocení odolnosti povrchu cementobetonového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

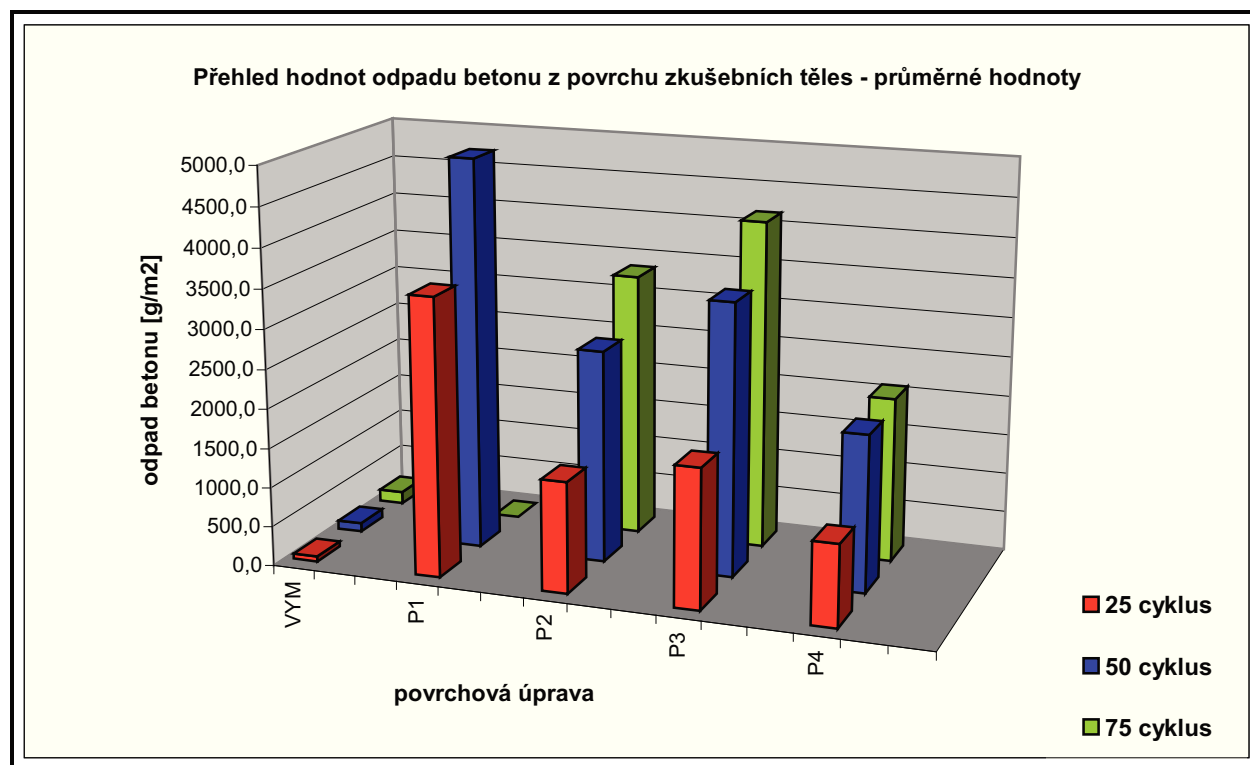
Součinitel odolnosti D1 dosáhly pouze vzorky VYM – tedy vzorky povrchové úpravy technologií vymývaného betonu. Tyto vzorky dosáhly po 75 zmrazovacích cyklech průměrné hodnoty odpadu betonu z povrchu vzorku 153,4 g/m<sup>2</sup>. Tato hodnota je výborným výsledkem. Povrchy P1 až P4 již kritérium součinitele D1 nesplnily. Vzorky dosahovaly vysokých hodnot odpadu betonu dosahující až 3440,8 g/m<sup>2</sup> po 75 zmrazovacích cyklech (povrchová úprava P3). Nejhorší výsledky vůbec byly zaznamenány u povrchové úpravy P1, kdy již po 50 zmrazovacích cyklech dosahovaly hodnoty odpadu betonu 4950 g/m<sup>2</sup> a vlivem rozsáhlých trhlin nebylo možno zajistit těsnost objímky a pokračování zkoušky. Hodnoty odpadu betonu se však u těchto vzorků zásadně lišily a potvrzují tak, že způsob povrchové úpravy má vliv na případnou odolnost CB krytu vůči vodě a rozmrazovacím látkám. V Tab. 9 jsou přehledně seřazeny jednotlivé povrchové úpravy podle jejich výsledků při zkoušce odolnosti povrchu.

Tab. 9 Seřazení povrchových úprav dle jejich průměrného odpadu betonu při zkoušce odolnosti vůči vodě a rozmrazovacím látkám

Typ povrchové úpravy	Označení	Průměrná hodnota odpadu betonu z povrchu zkušebních těles po 75 cyklech (vzorky P1 po 50 cyklech)
		[g/m <sup>2</sup> ]
vymývaný beton	VYM	153,4
tažený ocelový hřeben	P4	1975,1
tažená juta + DENSOCUR R	P2	2687,1
tažená rohož	P3	3440,8
tažená juta + NOVAPOR HV	P1	4950,0

Část odpadu z povrchu vzorků je tvořena pozůstatky prostředku pro ošetření povrchu čerstvého betonu, kterým byly vzorky ošetřeny. Toto množství se může pohybovat v rozmezí 150 – 200 g/m<sup>2</sup>. Ačkoliv byla pro výrobu vzorků použita receptura užívaná ve stavební praxi, vzorky povrchů V1 – V4 ve zkoušce neobstály. Tento fakt mohl být způsoben nedostatečným provzdušněním betonu. Výsledky mohly být také ovlivněny působením mrazu přímo na narušené a obnažené kamenivo, k čemuž došlo při odebrání vzorků jádrovou vrtačkou. Zcela tak po obvodu chyběla krycí vrstva z cementového tmele.

V Grafu č. 6 je pak znázorněno konečné porovnání hodnot odpadu betonu z povrchu vzorků vzhledem k jednotlivým etapám průběhu zkoušky.



Graf č. 6

#### 4.4.3 Stanovení pevnosti betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla stanovena na dvou typech zkušebních vzorků. Prvním typem zkušebních vzorků byly zkušební krychle o rozměrech 150 x 150 x 150 mm. Tyto vzorky byly odebírány při plnění forem pro výrobu zkušebních panelů. Bylo odebráno 8 krychlí betonu SILBET a 3 krychle betonu VYMBET. Druhým typem vzorků byly jádrové vývrty, které byly odebrány ze zkušebních panelů po jejich 28 denním zrání. Z každého zkušebního panelu se odebraly 4 jádrové vývrty, kdy z tohoto množství 3 vývrty byly určeny pro účely ověření pevnosti v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce.

##### Postup zkoušky:

Stanovení pevnosti betonu v tlaku bylo prováděno na zkušebním lisu firmy BetonSystém s maximální silou 300 kN, příp. 4000 kN. Jednotlivé vzorky se vkládaly mezi tlačné desky lisu, kde byly plynule zatěžovány. Záznamové zařízení zkušebního lisu zaznamenávalo maximální sílu, při které došlo k porušení vzorku namáhaného tlakem.

##### Pevnost betonu v tlaku – zkušební krychle

Zkouška pevnosti betonu v tlaku byla provedena dle ČSN EN 12390-3  
Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles [8].

Krychelná pevnost betonu v tlaku  $f_c$  [MPa] se stanoví dle vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c}.$$

Kde:

F - maximální síla, kterou působí lis na vzorek [N]

$A_c$  - tlačná plocha zkoumaného vzorku [mm<sup>2</sup>].

Tab. 10 Přehled výsledných krychelných pevností betonu v tlaku po 28 dnech

Označení vzorku	Rozměry vzorku			Hmotnost	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Průměrná pevnost v tlaku
	Výška	Šířka	Délka				
	[mm]	[mm]	[mm]				
<b>SILBET-1</b>	149,7	150,3	149,9	7,996	2340	48,18	<b>51,5</b>
<b>SILBET-2</b>	150,0	149,1	149,6	8,097		51,93	
<b>SILBET-3</b>	147,5	149,4	149,4	8,049		54,33	
<b>SILBET-4</b>	148,2	149,4	149,6	7,966		53,67	
<b>SILBET-5</b>	150,0	149,5	149,4	8,154		52,71	
<b>SILBET-6</b>	149,6	149,4	149,6	8,006		49,06	
<b>SILBET-7</b>	146,7	149,5	149,7	7,844		48,78	
<b>SILBET-8</b>	147,7	149,5	149,6	7,817		53,35	
<b>VYM K1</b>	149,6	149,6	149,6	8,232	2400	66,84	<b>67,0</b>
<b>VYM K2</b>	148,3	149,7	149,8	8,251		66,57	
<b>VYM K3</b>	147,5	149,6	149,6	8,143		67,82	

#### Pevnost betonu v tlaku – jádrové vývrty

Pevnost betonu v tlaku byla provedena dle ČSN 73 1317 – Z2:

Stanovení pevnosti betonu v tlaku [11]

Štíhlost  $\lambda$  vzorků (poměr výšky k průměru) se pohybovala v rozmezí  $1 < \lambda < 2$ , proto byla válcová pevnost v tlaku  $R_{c,cy}$  [MPa] vypočtena ze vztahu:

$$R_{c,cy} = \chi_{c,cy} \cdot \frac{F}{A}.$$

Kde:

F - maximální síla, kterou působil lis na vzorek [N]

A - tlačná plocha zkoušeného vzorku [mm<sup>2</sup>]

$\chi_{c,cy}$  - opravný součinitel získaný ze vztahu:

$$\chi_{c,cy} = 0,80 + \sqrt{\frac{\lambda - 0,933}{26,667}}.$$

Vypočtená opravená válcová pevnost v tlaku byla dále pomocí převodního součinitele  $\chi_{cy,cu}$  převedena na krychelnou pevnost zkušebních těles základních velikostí  $R_{c,cu}$ . Hodnoty převodního součinitele  $\chi_{cy,cu}$  jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11 Hodnoty převodního součinitele  $\chi_{cy,cu}$  při pevnosti betonu zjištěné na válcích základních rozměrů [11]

$R_{c,cy}$	[MPa]	4,0 - 25	25,1 - 35	35,1 - 50	50,1 – 60
$\chi_{cy,cu}$	[-]	1,25	1,2	1,15	1,1

Výsledné hodnoty převedené krychelné pevnosti  $R_{c,cu}$  jednotlivých vzorků jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 Přehled pevností v tlaku zjištěných na jádrových vývrtech

Označení vzorku	Rozměry vzorku		Pevnost v tlaku	Štíhlost	Opravný součinitel	Opravená válcová pevnost	Krychlená pevnost
	Průměr	Výška					
	[mm]	[mm]	[MPa]	-	-	[MPa]	[MPa]
P1-1	93	109,3	37,12	1,175	0,90	33,23	38,22
P1-2	93,3	102,0	37,01	1,093	0,88	32,48	37,35
P1-3	93,7	105,5	37,92	1,125	0,88	33,56	38,59
P2-1	92,8	102,2	33,77	1,101	0,88	29,69	40,52
P2-2	93,2	106,6	31,83	1,144	0,89	28,30	38,20
P2-3	92,4	108,7	33,55	1,176	0,90	30,04	40,26
P3-1	93,1	106,9	35,53	1,148	0,89	31,62	42,64
P3-2	93,5	108,6	38,03	1,161	0,89	33,94	43,73
P3-3	93,6	105,1	41,26	1,123	0,88	36,49	47,45
P4-1	93,1	102,6	36,61	1,103	0,88	32,21	42,10
P4-2	93,4	102,9	33,84	1,102	0,88	29,77	40,61
P4-3	92,9	106,2	36,19	1,144	0,89	32,17	41,62
VYM-1	92,9	101,3	42,06	1,091	0,88	36,88	48,37
VYM-2	93,1	103,0	43,22	1,107	0,88	38,06	49,70
VYM-3	93,4	94,8	42,40	1,015	0,86	36,27	48,76

Pro zařazení betonu do pevnostní třídy bylo provedeno statistické hodnocení (dle ČSN EN 13822) souboru všech vzorků. Pro výpočet charakteristické krychelné pevnosti byl vypočten aritmetický průměr jednotlivých výsledků pevností v tlaku  $m_x$ , směrodatná odchylka  $s_n$  a variační koeficient  $V_x$ .

Výpočet průměrné hodnoty pevností v tlaku  $m_x$ :

$$m_{xSILBET} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{432,67}{12} = \underline{\underline{36,05 MPa}}$$

$$m_{xVYMBET} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{127,68}{3} = \underline{\underline{42,56 MPa}}$$

Kde:

$x_i$  - jednotlivé výsledky zkoušek pevnosti v tlaku

$n$  - celkové množství vzorků.

Výpočet směrodatné odchylky  $s_n$ :

$$s_{xSILBET} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{71,35}{11}} = \underline{\underline{2,546}}$$

$$s_{xVYMBET} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,702}{2}} = \underline{\underline{0,592}}$$

Výpočet variačního součinitele  $V_x$ :

$$V_{xSILBET} = \frac{s_n}{m_x} = \frac{2,546}{36,05} = \underline{\underline{0,0706}}$$

$$V_{xVYMBET} = \frac{s_n}{m_x} = \frac{0,592}{42,56} = \underline{\underline{0,0139}}$$

Výpočet charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku  $X_k$ :

$$X_{kSILBET} = m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

$$X_{12} = 36,05 \cdot (1 - 1,92 \cdot 0,0706)$$

$$X_{12} = \underline{\underline{31,16 MPa}}$$

$$X_{kVYMBET} = m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

$$X_3 = 42,56 \cdot (1 - 3,37 \cdot 0,0139)$$

$$X_3 = \underline{\underline{40,56 MPa}}$$

Kde:

$k_n$  – součinitel pro stanovení 5% kvantilu charakteristické hodnoty pevnosti v tlaku[31].

#### 4.4.4 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku

Stanovení pevnosti betonu v tlaku bylo hodnoceno dvěma metodami na dvou různých typech zkušebních těles. V prvním případě se hodnotily zkušební krychle o rozměrech 150 x 150 x 150 mm a zkušební postup byl proveden dle ČSN EN 12390-3. Pro ověření pevnosti betonu v tlaku bylo zkoušeno 8 krychlí receptury SILBET a 3 krychle receptury VYMBET. Výsledné charakteristické krychelné pevnosti byly stanoveny pro SILBET  $f_{ck,cube} = 51,5$  MPa a pro VYMBET  $f_{ck,cube} = 67,0$  MPa. Na základě charakteristických krychelných pevností spadá SILBET do pevnostní třídy C35/45 a VYMBET do pevnostní třídy C50/60. Obě dvě receptury tak splňují požadavek na minimální třídu pevnosti v tlaku pro účely betonáže CB krytu, která je stanovena na pevnostní třídě C30/35.

Na základě porovnání obou receptur, VYMBET vykazuje o 23% větší pevnosti než SILBET.

V druhém případě byla pevnost stanovena na jádrových vývrtech o průměru 100 mm odebraných pro tento účel ze zkušebních panelů. Pro zařazení betonu do pevnostní třídy bylo provedeno statistické hodnocení dle ČSN EN 13822. Ze zkušebních panelů bylo odebráno 12 zkušebních jádrových vývrtů pro směs SILBET a 3 zkušebních jádrových vývrtů pro směs VYMBET. Pro posuzované receptury byly charakteristické krychlené pevnosti betonu v tlaku stanoveny  $X_{12,SILBET} = 31,16$  MPa a  $X_{3,VYMBET} = 40,56$  MPa. Při zatřídění betonu dle těchto získaných hodnot spadá SILBET do pevnostní třídy C20/25 a VYMBET do pevnostní třídy C30/37. Při hodnocení vzorků z reálné konstrukce by směs SILBET nesplňovala minimální třídu pevnosti v tlaku pro účely betonáže CB krytu, která je stanovena na pevnostní třídě C30/37.

Při srovnání výsledků z obou metod je patrné, že pevnosti zjištěné na zkušebních krychlích ukazují vyšší hodnoty až o 38 % v případě směsi VYMBET a 40% u směsi SILBET. I přes rozdílný počet zkušebních vzorků pro jednotlivé směsi není procentuální rozdíl mezi pevnostmi betonu v tlaku dle jednotlivých zkušebních metod výrazně rozdílný.



## 4.5 Topografie speciálních povrchových úprav CB krytu

Pro kategorizaci textury povrchu se obvykle používají následující intervaly:

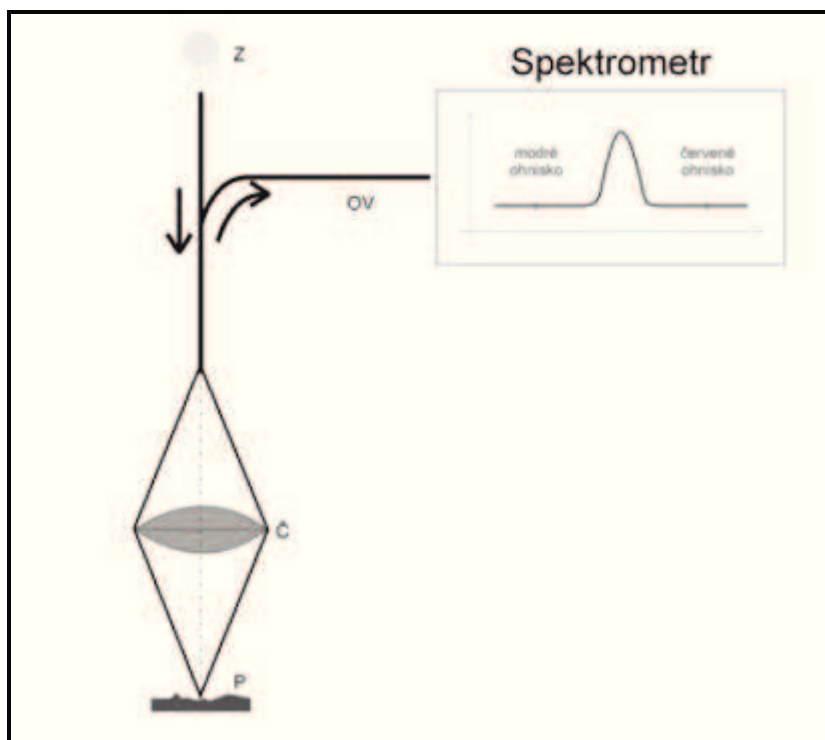
- Mikrotextura  $m = 0 - 0,5 \text{ mm}$
- Makrotextura  $m = 0,5 - 50 \text{ mm}$
- Megatextura  $m = 50 - 500 \text{ mm}$

Mikrotextura má důležitý vliv z hlediska protismykových vlastností vozovky v místě styku s pneumatikou vozidla. Makrotextura primárně zastává drenážní funkci ohrubné vrstvy a umožňuje tak bezporuchovou funkci mikrotextury. Megatextura je důležitá z hlediska komfortu jízdy. Všem těmto vrstvám je nutno věnovat dostatečnou pozornost při provádění povrchových úprav vozovky. Na základě určení textury povrchu je možné analyzovat klíčové mechanismy, které mohou ovlivňovat hlučnost vozovky.

### 4.5.1 Princip metody chromatické aberace – optický profilometr

Bílé světlo ze zdroje  $Z$  je optickým vláknem  $OV$  přivedeno ke spojné čočce  $\check{C}$ , která v důsledku své velké chromatické aberace fokusuje jednotlivé monochromatické složky bílého světla do různé výšky nad vztažnou rovinou. Po dopadu na studovaný povrch  $P$  vzorku je fokusované světlo (na rozdíl od světla nefokusovaného) optimálně odraženo zpět do zmíněné čočky a optickým vláknem přivedeno do miniaturního spektrometru. Hodnota vlnové délky maxima intenzity světla vystupujícího ze spektrometru je pomocí kalibrační tabulky převedena na hodnotu vzdálenosti mezi senzorem a povrchem vzorku [33]. V této vzdálenosti jsou zahrnuty nejen výškové nerovnosti povrchu, ale i tzv. pracovní vzdálenost senzoru od vztažné roviny. Pracovní vzdálenost je rovna 5 mm, tj. měření je vždy nekontaktní a nedestruktivní. Vzorek je umístěn na skenovacím stolku, jehož velmi rychlý a přesný pohyb (který je řízen speciálně naprogramovaným procesorem) v definovaných liniích (v jedné nebo mnoha vzájemně rovnoběžných s konstantní vzájemnou vzdáleností) pod nepohybujícím se senzorem umožňuje získat údaje o topografii studovaného povrchu nejen podél zvolené linie, ale z celé plochy povrchu. Z popsaného principu činnosti optického profilometru je zřejmé, že senzor optického profilometru nesleduje svým pohybem profil povrchu (nevyužívá se

autofokusační princip), ale získává potřebná data nezávisle z každého měřicího bodu. Tato skutečnost vede k vysoké rychlosti měření[23].



Obr. 21 Princip činnosti optického profilometru MicroProf FRT v základním provedení s optickým senzorem CHR 150 N [23]

*Z*- zdroj bílého světla (halogenová výbojka)

*OV* – optické vlákno

*Č* – čočka s velkou chromatickou aberací

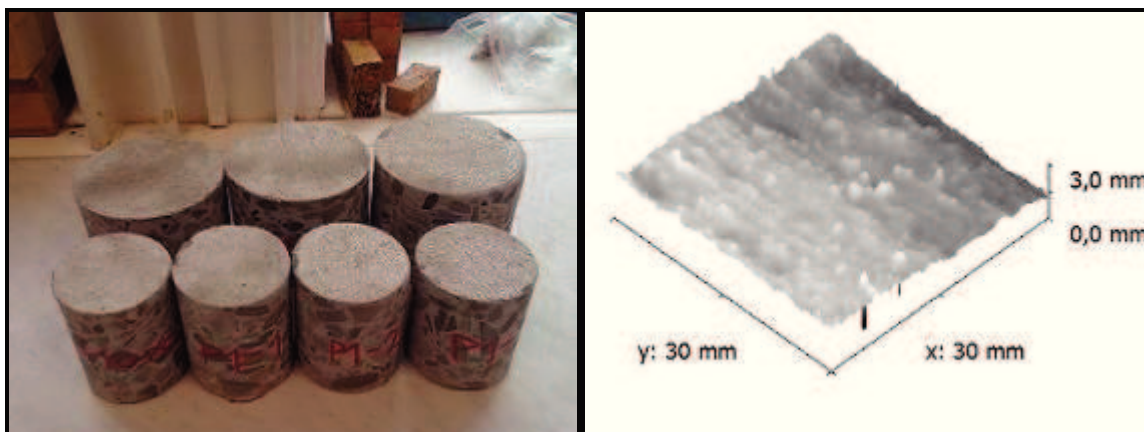
*P* – studovaný povrch,

*Spektrometr* - analyzuje spektrální rozdělení intenzity světla odraženého od povrchu

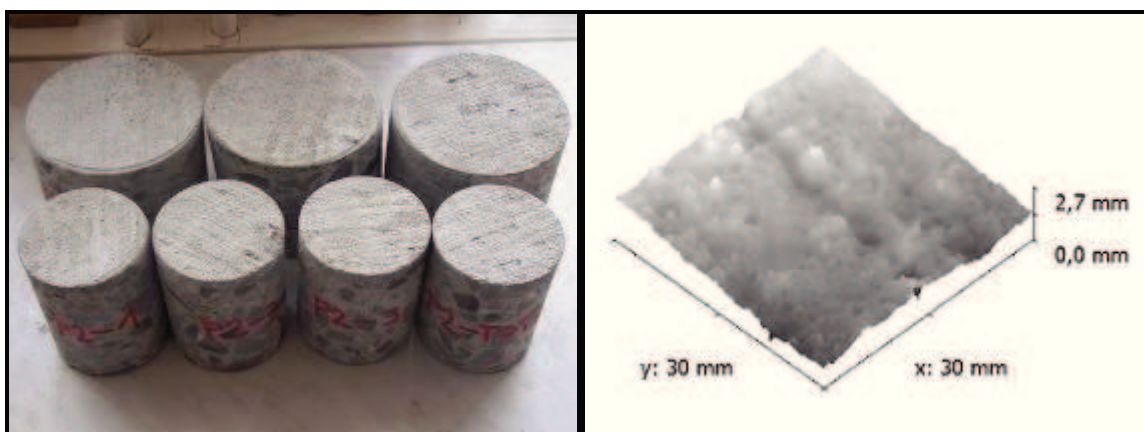
#### 4.5.2 Měření topografie povrchu

Měření topografie povrchu bylo provedeno optickým profilometrem FRT MR 20000. Zařízení je umístěno na Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i v Ostravě – Porubě. Pro účely tohoto měření byly využity referenční jádrové vývrty o průměru 100 mm, které byly odebrány ze zkušebních panelů. Vzorky byly vybírány podle nejkvalitnějšího provedení úpravy povrchu. Optickým profilometrem bylo snímáno všech 5 typů zkoušených povrchů. Výstupem měření byly data sloužící k vytvoření trojrozměrného zobrazení povrchu vzorků a následnému porovnání.

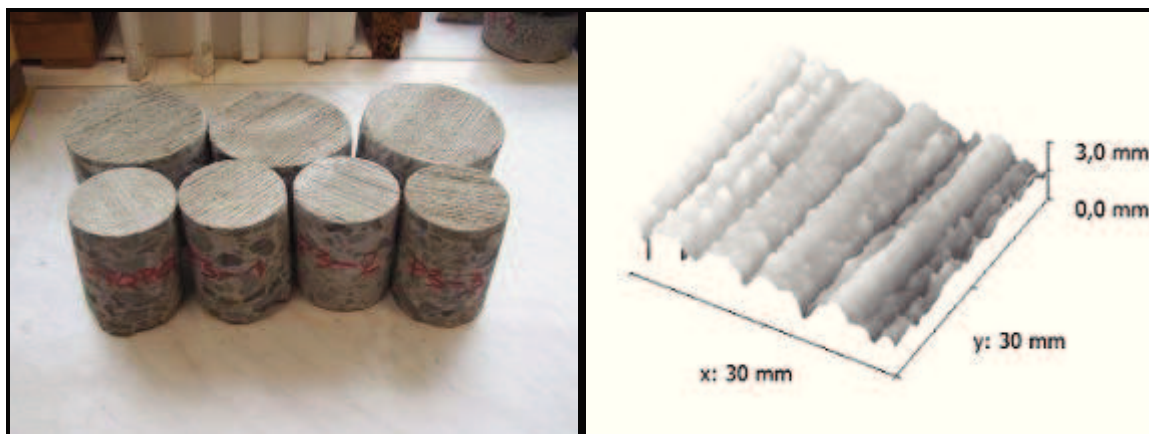
#### 4.5.3 Trojrozměrné zobrazení povrchu



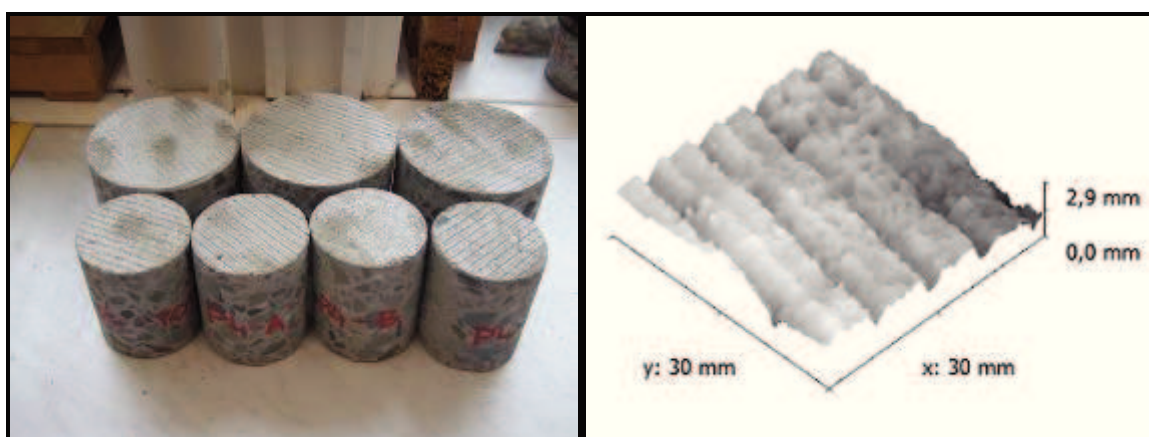
Obr. 22 P1- povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík NOVAPOR HV



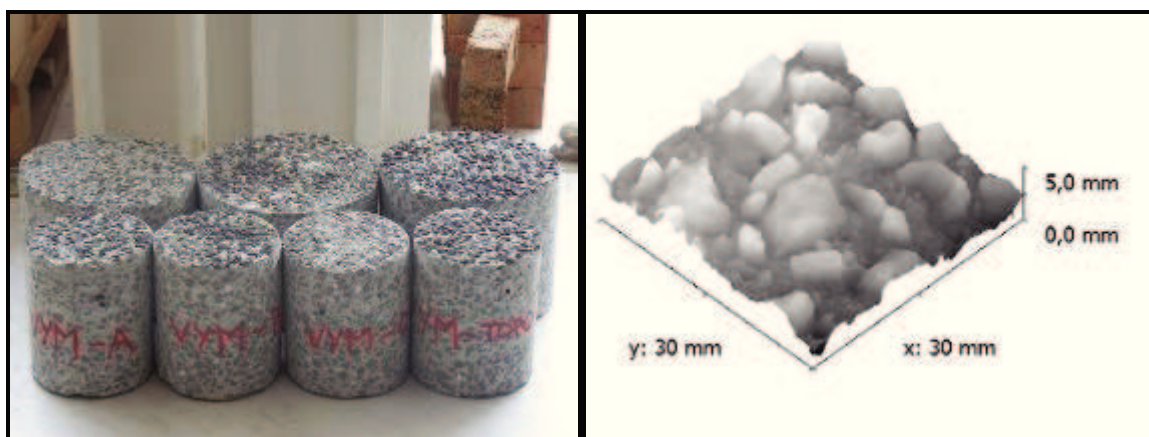
Obr. 23 P2- povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík DENSOCURE R



Obr. 24 P3 - povrchová úprava taženou rohoží



Obr. 25 P4 - povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem



Obr. 26 VYM - povrchová úprava technologií vymývaného betonu

#### 4.5.4 Vyhodnocení topografie povrchu

Na základě naměřených dat optickým profilometrem FRT MR 20000 a následným zpracováním v počítačovém programu Gwyddion [19] byly vytvořeny trojrozměrné zobrazení textury zkoušených vzorků. Diagnostikovaná plocha měla rozměr 30 x 30 mm a jedno měření probíhalo cca 1,5 hod. Dále bylo provedeno hodnocení jednotlivých povrchů a vzájemné srovnání.

##### P1 - povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík NOVAPOR HV

Povrchová úprava P1 byla provedena taženou jutou. Jedná se o běžnou technologii povrchové úpravy CB krytu a jedinou prováděnou úpravou v České republice. Textura vytvořená taženou jutou je jemně zrnitá, nevytváří výrazné rýhy na povrchu. Výškové rozdíly povrchu se pohybují v rozmezí 1,0 – 2,5 milimetrů. Povrch P1 byl ošetřen ochranným postříkem NOVAPOR HV, který neovlivnil texturu povrchu.

##### P2 - povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřík DENSOCURE R

Povrchová úprava je totožná jako v případě P1. Povrch P2 byl ošetřen ochranným postříkem DENSOCURE R. Ochranný postřík DENSOCURE R disponoval větší hustotou než postřík v případě povrchu P1. Z tohoto důvodu aplikace ručním rozprašovačem nebyla zcela ideální a docházelo k jemnému narušení povrchu kapičkami přípravku. Výškové rozdíly povrchu se pohybují v rozmezí 0,5 – 2,5 milimetrů.

##### P3 - povrchová úprava taženou rohoží

Povrchová úprava vykazovala oproti povrchům P1 a P2 výrazně pravidelnější strukturu. Výškové rozdíly dosahovaly hodnot 0,5 - 2,8 mm. Textura je charakteristická rovnoběžnými podélnými rýhami o šířce 1 – 3 mm v nepravidelných rozestupech a o nepravidelných hloubkách. Mezi rýhami vznikaly úzké zakulacené vrcholy o šířce 2 – 6 mm.

#### P4 - povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem

Povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem je charakterizována rovnoběžnými podélnými rýhami v pravidelných rozestupech. Rýhy dosahovaly pravidelné šířky  $3 \pm 0,5$  mm a hloubky  $1 \pm 0,5$  mm. Mezi rýhami vznikaly vrcholy s rovnou plošinou o tloušťce  $5 \pm 0,5$  mm.

#### VYM - povrchová úprava technologií vymývaného betonu

Povrch z vymývaného betonu vykazoval největší výškové rozdíly mezi nerovnostmi. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 1,5 – 4,5 mm. Charakteristickým rysem tohoto povrchu je nestejnотvárnost ve všech směrech. Obnažené kamenivo bylo zapuštěno do cementového tmele průběrně ze 2/3 svého rozměru.

Každý z posuzovaných povrchů vynikal svou charakteristickou texturou, která je rozlišitelná pouhým okem. Jednotlivé textury se navzájem výrazně lišily a díky provedené topografii povrchů je možné hlouběji porozumět procesu vzniku hluku při kontaktu vozovky s pneumatikou vozidla. Nejlépe hodnocené povrchy z hlediska hlučnosti – vymývaný beton a podélná striáž taženou jutou jsou z hlediska topografie podobné v textuře. Žádná z těchto dvou úprav nevytváří výraznou podélnou texturu. Dovolují tak vzduchu, který je při jízdě po vozovce stlačován v dezénu pneumatiky unikat ve všech směrech. Vývoj povrchových úprav by se tak měl ubírat směrem, kdy nedochází k vzniku dominantní textury v podélném nebo příčném směru.



## 5. ZÁVĚR

V rámci zpracování této diplomové práce byla řešena problematika speciálních povrchů cementobetonového krytu vozovek, směřující ke snížení hlučnosti. Teoretická část této diplomové práce je rozdělena do dvou kapitol. První z těchto kapitol je zaměřena na technologii CB krytů. Je zde komplexně popsána historie, rozdělení, požadavky na materiály a technologie návrhu a výroby CB krytů. Druhá kapitola je zaměřena na problematiku hlučnosti. V této kapitole jsou popsány obecné základy akustiky, zhodnocení vlivu hluku na lidský organismus, současná platná legislativa, metodika měření a možnosti snižování hlukové zátěže. V experimentální části práce se hodnotí vlastnosti vybraných povrchových úprav CB krytu.

Pro experimentální část diplomové práce bylo vyrobeno 5 zkušebních cementobetonových panelů o rozměrech 800 x 500 x 110mm, na které byly aplikovány vybrané povrchové úpravy. Volba hodnocených povrchových úprav byla provedena s ohledem na současné technologické postupy prováděné při betonáži vozovek v České republice a v zahraničí. Z důvodu nedostupnosti technologie pro měření hlučnosti z kontaktu vozovky a pneumatiky v laboratorních podmínkách, byly vybrané povrchové úpravy hodnoceny z hlediska pevnostních charakteristik, odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek a byla provedena topografie povrchu. Dle dostupných informací existuje v současnosti jen jedno ojedinělé zařízení, které umožňuje měření hlučnosti z kontaktu pneumatiky s vozovkou v laboratorních podmínkách. Toto zařízení je umístěno na Purdue Univerzity, v Indianě v USA. Na základě této skutečnosti bylo druhým kritériem, pro výběr hodnocených povrchových úprav, dostupnost informací z měření hlučnosti na reálně užívaných nebo experimentálně vybudovaných testovacích úsecích vozovky. Tyto informace byly přejaty především ze zahraničního výzkumného projektu SILVIA.

Z hodnoceného výběru speciálních povrchových úprav CB krytu dosahoval nejlepších výsledků, v provedených zkouškách a měřeních, povrch z vymývaného betonu. Vymývaný beton dosahoval výborných výsledků při zkoušce odolnosti povrchu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek a dosahuje také dobrých akustických vlastností. Textura povrchu vymývaného betonu nevytváří v žádném směru výrazné rýhování a dovoluje tak

vzduchu, který je při jízdě po vozovce stlačován v dezénu pneumatiky, unikát ve všech směrech. Vývoj povrchových úprav by se tak měl ubírat směrem, kdy nedochází k vzniku dominantní textury v podélném nebo příčném směru. Ostatní zkoušené povrchové úpravy dosahovaly dobrých výsledků jen v některých s posuzovaných kritérií.

Problematika hlučnosti vozovek se postupně dostává do popředí zájmu veřejnosti i odborníků. Vývoj nových materiálů a povrchových úprav CB krytu není v současnosti z daleka vyčerpán a podrobnějším výzkumem bude možno docílit lepších výsledků ve všech posuzovaných kritériích. Předpokladem pro rychlý a smysluplný vývoj je i konstrukce vlastního laboratorního zařízení pro měření hluku vznikajícího při kontaktu vozovky s pneumatikou vozidla.



## Seznam použité literatury

- [1] Adams, G., Kamst, F., Pugh, S., Claughton, D.: *Dynamic Measurment of Tyre/Road Noise*. Sborník Acoustics 2006, Christchurch, New Zealand: Australian and New Zealand Acoustical Societies, 2006
- [2] Bajza, A., Rouseková, I.: *Technológia betónu*. Bratislava: JAGA GROUP, 2006. ISBN 80-8076-032-2
- [3] Bernhard, R., Wayson, R., L.: *An intruduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement*. Lexington, Kentucky, USA: APA - Asphalt Pavement Alliance, 2005
- [4] ČSN EN 206-1 – Z3 Beton - Část 1: *Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: ČNI, 2008
- [5] ČSN EN 12350-2 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: ČNI, 2009
- [6] ČSN EN 12350-6 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost*. Praha: ČNI, 2009
- [7] ČSN EN 12350-7 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody*. Praha: ČNI, 2009
- [8] ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2009
- [9] ČSN EN 13877 – 1 *Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály*. Praha: ČNI, 2006.
- [10] ČSN EN 13877 – 3 *Cementobetonové kryty – Část 3: Specifikace pro kluzné trny*. Praha: ČNI, 2006.
- [11] ČSN 73 1317 – Z2 *Stanovení pevnosti betonu v tlaku*. Praha: ČNI, 2003
- [12] ČSN 73 1326 *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: ČNI, 1984
- [13] ČSN EN 13877-1 ČSN 73 6123 *Stavba vozovek. Cementobetonové kryty* Praha: ČNI, 1994
- [14] *ELBA machines for concrete*. Karlsruhe: Dauth, Kaun und Partner GmbH, 2009
- [15] Gottvaldová, J.: *Automobilový hluk*. SILNICE ŽELEZNICE, Praha: KONSTRUKCE Media, 2011
- [16] Gschwendt, I., a kolektiv: *Vozovky – materiály a technológia*, Bratislava: JAGA GROUP, 2001. ISBN 80-88905-52-4

- [17] Hendrikx, L.: *Noiseless concrete pavements*. Technical sheet n° 18 of the FEBELCEM "DOSSIER CEMENT 1994-2008"
- [18] <http://www.akoustik.ca>
- [19] <http://gwyddion.net/>
- [20] <http://mfweb.wz.cz/fyzika>
- [21] Křivánek, V.: *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*. Brno: CDV – Centrum dopravního výzkumu, 2010
- [22] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [23] Ohlídal, M.: *Optické metody hodnocení textury povrchu v mikrometrové oblasti*. Sborník Kvalita a GPS 2005, Brno:2005
- [24] Pospíšil, K., Stryk, J.: *Cementobetonové kryty jako alternativa první volby dálnic*. Sborník Betonové vozovky 2007
- [25] Pospíšil, K.: *Vlastnosti cementobetonových vozovek*. BETON TKS 6/2005, Praha: BETON TKS s.r.o., 2005
- [26] *Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR*. Praha: ŘSD ČR, 2011
- [27] Pytlík, P.: *Technologie betonu*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5
- [28] *SQHD Center Researches Tire/Pavement Noise*. HMAT, july/august 2005, Lanham, Maryland, USA: NAPA – National Asphalt Pavement Alliance, 2005
- [29] *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Cementobetonový kryt. TKP 6*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2007.
- [30] *The world of Wirtgen slipform pavers*. Windhagen:Wirtgen GmbH,2008
- [31] Valentin, J., Mondschein, P.: *Snižování hluku možnými úpravami ohrusné vrstvy vozovky*. SILNICE ŽELEZNICE, Praha: KONSTRUKCE Media, 2010
- [32] Vaverka, J., Kozel,V., Ládyš,L., Liberko, M., Chybík, J.: *Stavební fyzika I., urbanistická, prostorová a stavební akustika*, Brno:VUTIUM, 1998, ISBN 80-214-1283-6
- [33] Weiss, V.: *Technologie pro výrobu cementobetonových krytů vozovek a letištních ploch*. BETON TKS 3/2002, Praha: BETON TSK s.r.o., 2002
- [34] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích

## Seznam obrázků

- Obr. 1* Charakteristická skladba dvouvrstvého cementobetonového krytu [29]
- Obr. 2* Kluzné trny
- Obr. 3* Kotevní tyče
- Obr. 4* Schéma betonáže dvouvrstvého cementobetonového krytu – samostatný finišer [30]
- Obr. 5* Schéma betonáže dvouvrstvého cementobetonového krytu – souprava [30]
- Obr. 6* Podavač výztužných prvků
- Obr. 7* Hladicí lišta
- Obr. 8* Aplikace ochranného postřiku proti odpařování vody
- Obr. 9* Sluchové pole lidského ucha [20]
- Obr. 10* Zvukoměry firmy Brüel & Kjær [18]
- Obr. 11* Zdroje hluku u vozidla v činnosti [31]
- Obr. 12* Tire/Pavement Test Apparatus – TPTA [3]
- Obr. 13* Úprava povrchu tažením jutou
- Obr. 14* Vymývaný beton
- Obr. 15* Broušení – Grinding
- Obr. 16* Porézní beton
- Obr. 17* Možnosti snižování hlučnosti použitím speciální úpravy dle projektu SILVIA [24]
- Obr. 18* Schéma výroby zkušebních vzorků
- Obr. 19* Hutnění ponorným vibrátorem
- Obr. 20* Vrtání jádrového vývrtu
- Obr. 21* Princip činnosti optického profilometru MicroProf FRT v základním provedení s optickým senzorem CHR 150 N [23].
- Obr. 22* P1- povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřik NOVAPOR HV
- Obr. 23* P2- povrchová úprava taženou mokrou jutou + ochranný postřik DENSOCURE R
- Obr. 24* P3 - povrchová úprava taženou rohoží
- Obr. 25* P4 - povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem
- Obr. 26* VYM - povrchová úprava technologií vymývaného betonu

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i>	Délka silniční sítě [26]
<i>Tab. 2</i>	Členění cementobetonových krytů [13]
<i>Tab. 3</i>	Složení a kvalitativní parametry čerstvého betonu [13]
<i>Tab. 4</i>	Obor zrnitosti směsi kameniva cementobetonového krytu s největším zrnem 32 mm [13]
<i>Tab. 5</i>	Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru [22]
<i>Tab. 6</i>	Aktuální stav hlučnosti vozovek v České republice [21]
<i>Tab. 7</i>	Výsledky zkoušek prováděných na čerstvém betonu
<i>Tab. 8</i>	Přehled odlupování betonu s povrchu jednotlivých zkušebních těles v průběhu 75 zmrazovacích cyklů
<i>Tab. 9</i>	Seřazení povrchových úprav dle jejich průměrného odpadu betonu při zkoušce odolnosti vůči vodě a rozmrazovacím látkám
<i>Tab. 10</i>	Přehled výsledných krychelných pevností betonu v tlaku po 28 dnech
<i>Tab. 11</i>	Hodnoty převodního součinitele $\chi_{cy,cu}$ při pevnosti betonu zjištěné na válcích základních rozměrů [11]
<i>Tab. 12</i>	Přehled pevností v tlaku zjištěných na jádrových vývrtech

## Seznam grafů

<i>Graf č. 1</i>	Postup odlupování betonu z povrchu zkušebního tělesa - povrch P1
<i>Graf č. 2</i>	Postup odlupování betonu z povrchu zkušebního tělesa - povrch P2
<i>Graf č. 3</i>	Postup odlupování betonu z povrchu zkušebního tělesa - povrch P3
<i>Graf č. 4</i>	Postup odlupování betonu z povrchu zkušebního tělesa - povrch P4
<i>Graf č. 5</i>	Postup odlupování betonu z povrchu zkušebního tělesa - povrch VYM
<i>Graf č. 6</i>	Přehled hodnot odpadu betonu z povrchu zkušebních těles - průměrné hodnoty

## Seznam příloh

Příloha č. 1 Fotodokumentace – provedené povrchové úpravy, průběh zkoušek

*Obr. 1* Povrchová úprava taženou mokrou jutou

*Obr. 2* Povrchová úprava taženou rohoží

*Obr. 3* Povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem

*Obr. 4* Povrchová úprava technologií vymývaného betonu

*Obr. 5* Průběhu zkoušky odolnosti povrchu cementového betonu proti vlivu vody a chemických rozmrazovacích látek

*Obr. 6* Poškození vzorku P1 – C po 50zmrazovacích cyklech

*Příloha č. 2* Technický list- deaktivátor povrchu RHEOFACE 460

*Příloha č. 3* Technický list – ochranný postřik NOVAPOR HV

*Příloha č. 4* Technický list – ochranný postřik DENSOCUR R





*Obr. 1* Povrchová úprava taženou mokrou jutou



*Obr. 2* Povrchová úprava taženou rohoží





*Obr. 3* Povrchová úprava taženým ocelovým hřebenem



*Obr. 4* Povrchová úprava technologií vymývaného betonu





Obr. 5 Průběhu zkoušky odolnosti povrchu cementového betonu proti vlivu vody a chemických rozmrazovacích látek



Obr. 6 Poškození vzorku P1 – C po 50zmrazovacích cyklech